

منطقة منجم السكري لتعدين الذهب – صحراء مصر الشرقية

"دراسة جيومورفولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية"

د. محمد إبراهيم محمد خطاب

مدرس الجغرافيا الطبيعية - كلية الآداب - جامعة القاهرة

الإستشهاد المرجعى:

محمد إبراهيم محمد خطاب (٢٠٢٠). منطقة منجم السكري لتعدين الذهب – صحراء مصر الشرقية : دراسة جيومورفولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. حولية كلية الآداب. جامعة بني سويف.مج ٩،ج ٢ ص ـ ٣٥٧ : ٤٣١.

مستخلص:

يعد منجم السكري للذهب بصحراء مصر الشرقية المنجم الوحيد لتعدين الذهب في مصر، ويتم استخلاص الذهب عن طريق التعدين السطحي والباطني، حيث يوجد منجم سطحي وثلاثة مناجم باطنية. وقد أثرت عوامل التشكيل الباطنية في تمعدن الذهب بجبل السكري، وساعدت الخصائص التضاريسية والجيومورفولوجية في تيسير تعدين الذهب، ويدور الإنتاج السنوي للذهب حاليًا حول ٠.٥ مليون أوقية. وقد تمت دراسة الخصائص الجيولوجية والتضاريسية والجيومورفولوجية لمنطقة المنجم،

وأيضًا إنتاجية الذهب والاحتياطي، وخريطة استخدام الأرض في المنجم. كما تم رصد التدخل البشري في المنطقة. وتم تطبيق منهجية جديدة لرصد التدخل البشري اعتمادًا على دمج المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية عالية الدقة المكانية وبتواريخ مختلفة، لإنتاج مجسم تصويري ثلاثي الأبعاد يساعد على رصد التغيرات الجيومورفولوجية في الاتجاهين الرأسي والأفقي، وساعدت هذه المنهجية مع الدراسات الميدانية في إمكانية رصد التغيرات التضاريسية والجيومورفولوجية بدقة عالية، وتمثلت هذه التغيرات في إزالة بعض الأشكال التضاريسية والأرضية، وإنتاج العديد من الأشكال الأرضية البشرية النشأة، مثل حفرة التعدين السطحي والمدرجات الاصطناعية وحوض تخزين المخلفات والكومات الأشبه بالتلال المتراصة وغيرها. وخلصت الدراسة إلى أن دور الإنسان كعامل جيومورفولوجي لا يقل عن دور عوامل التعرية، فمع نهاية التعدين سيكون الإنسان قد نقل كمية من الصخور تعادل نحو ١٤.٢ مرة قدر حمولة نهر النيل السنوية عند أسوان قبل بناء السد العالي.

الكلمات المفتاحية: منجم السكري – جبل السكري – نماذج الارتفاع الرقمية – الظاهرات البشرية النشأة – حفرة التعدين السطحي – حوض تخزين المخلفات – أكوام المخلفات.

Abstract:

Sukkari gold mine in the Eastern Desert of Egypt is the only mine for gold mining in Egypt, where gold is extracted by both surface and underground methods. These are represented by one surface and three underground mines. Tectonic processes affected gold mineralization in Jabal as-Sukkari, whereas terrain and geomorphological processes facilitate gold mining. So, the annual gold production is currently around 0.5 million ounces. In the current work, the geological, topographical and geomorphological characteristics of the mine area are studied. Gold productivity and reserve, and the land use map of the mine are also studied to monitor human intervention in this area. Based on the merge of high spatial resolution images and DEMs with different dates, new methodology is



applied to monitor this man intervention. Accordingly, a three-dimensional (3D) stereoscope that helps monitoring the geomorphological changes in the vertical and horizontal directions is produced. This new approach of methodology with field studies helps to monitor the topographical and geomorphological changes with high accuracy. Such changes include, but not restricted to, the removal of some terrain and landforms and development of many anthropogenic landforms, such as open pit mine area, artificial terraces, dumps, tailings, and storage facilities. This study concludes that the man impacts as a geomorphological agent is not less than the impact of erosion agents, and by the end of the mining process, mans will have moved a quantity of rocks equivalent to about 14.2 times the load carried by the Nile River annually at Aswan before the construction of the High Dam.

Keywords: Sukkari gold mine - Jabal as-Sukkari – DEMs – Man made features – TSF - Open pit – Waste Dumps.

المقدمة:

يعد منجم السكري للذهب بصحراء مصر الشرقية المنجم الوحيد لتعدين الذهب في مصر حاليًا، كما يعد واحد من أكبر عشرة مناجم للذهب في العالم من حيث الإنتاج السنوي؛ حيث يدور انتاجه السنوي منذ عام ٢٠١٦ حول ٠.٥ مليون أوقية[١].

ولمنطقة منجم السكري تاريخ تعديني طويل خلال كل المراحل التاريخية لمصر، بداية من عصر ما قبل الأسرات (نحو ٣٢٠٠ سنة ق.م) مرورًا بعصور البطالمة والرومان البيزنطيين وبداية الفترة العربية، وكذلك أثناء الاحتلال البريطاني لمصر،

(١) تبلغ أوقية الذهب المستخدمة ٣١.١٠٣٥ جرام (Centamin Plc, Annual Report,2018,P. 207).



ومازال تعدين الذهب حتى الوقت الحاضر (Khalil, et al., 2015, P. 29). وكان تعدين الذهب في الفترات التاريخية السابقة يتم من عروق الكوارتز ومن رواسب بطون الأودية القريبة من الجبل. وتوجد بقايا المستوطنات التعدينية في منطقة الدراسة(١) (Klemm & Klemm, 2013, PP. 212, 213).

كما توجد العديد من الحفر الصغيرة والمتناثرة لمسافة ٢ كم على طول امتداد جبل السكري، وأيضًا في وادي فرعون الذي يعد أحد الأودية الصغيرة التي تنبع من جبل السكري وتصب في وادي السكري الرئيسي. وتقدر كمية الذهب المستخرجة من المنجم في الفترات التاريخية السابقة بنحو ١٠٠٠ كجم، كما تم تعدين الذهب على فترات متقطعة من القرن العشرين، وبلغ إجمالي كمية الذهب الذي تم تعدينه خلال القرن العشرين ٤٧٦٨ كجم، ثم توقف التعدين في عام ١٩٥٠، وثمة محاولات لعودته مرة أخرى، حتى عاد في أواخر ٢٠٠٨ (Centamin Prospectus 30 October 2009, P. 30)، ومن المتوقع أن يستمر التعدين الحالي حتى عام ٢٠٣٥.

ويتم تعدين الذهب في المنجم عن طريق التعدين السطحي والتعدين الباطني، وقد نتج عن ذلك تغيرات تضاريسية وجيومورفولوجية كبيرة ما بين ازالة للعديد من الظاهرات التضاريسية والجيومورفولوجية، وإنتاج ظاهرات أخرى بشرية النشأة، وعلى الرغم من الدور الكبير الذي تلعبه الأنشطة التعدينية في العالم، إلا أن دراسات الآثار التضاريسية

---

(١) لوحظ أثناء الدراسة الميدانية أن التعدين الحالي للذهب وصل للتلال الموجودة بالقرب من هذه المستوطنات التعدينية الأثرية، ولكن شركة السكري لمناجم الذهب أحاطت هذه المستوطنات بسياج للحفاظ عليها.

والجيومورفولوجية الناتجة عنها قليلة.

وقد أدت وفرة وتنوع المرئيات الفضائية بدقات مكانية وزمنية متعددة إلى توفير سجل تاريخي طويل من البيانات، وساعد ذلك الباحثين على رصد التغيرات في الاتجاه الأفقي، اعتمادًا على المقارنة البصرية والتغير الطيفي بين عدد من المرئيات في تواريخ مختلفة. وإذا كانت هذه المنهجية أثبتت نجاحها في رصد تغيرات الغطاء الأرضي وبعض الأشكال التضاريسية والجيومورفولوجية، إلا أنها لا توضح التغيرات الرأسية. ويعد التغير الرأسي مهمًا للغاية في الدراسة الجيومورفولوجية، كما أنه يمكن استخدام نماذج ارتفاع رقمية في تواريخ متتالية لرصد التغيرات الجيومورفولوجية، ويمكن دمجها مع مرئيات فضائية في نفس التواريخ للحصول على صورة ثلاثية الأبعاد تستخدم لرصد التغيرات الجيومورفولوجية الرأسية والأفقية بدقة عالية.

موقع وحدود منجم السكري وتاريخه التعديني:

يقع منجم السكري للذهب في جبل السكري في حوض وادي علم بصحراء مصر الشرقية. ويبعد المنجم عن مدينة مرسى علم بنحو ٣٠ كم. ويتركز الذهب في جبل السكري وفي بعض رواسب الأودية المتاخمة له. ويأخذ تركيز الذهب عدة أشكال منها عروق الكوارتز، ومناطق التغير(١) في التركيب المعدني، وعلى طول خطوط تماس

(١) يقصد بالتغير Alteration: تغير في التركيب المعدني للصخور نتيجة لتأثير المحاليل المائية الحارة، وقد يعد مرحلة من مراحل التحول، ولكنه أقلها درجة وأضيقها انتشارًا (مجمع اللغة العربية، ١٩٨٢، ص٢٠، ٢١).

الصخور الحمضية والقلوية وغيرها. وتقسم شركة السكري لمناجم الذهب[(١)] منطقة الجبل إلى أربع مناطق جغرافية تأخذ مسميات، هي: آمون ورع وغزالي وفرعون. ويتم تعدين الذهب بالمنجم سطحيًا وباطنيًا. ويلاحظ من قراءة شكل (١) أن منجم السكري يمتد فلكيًا بين دائرتي عرض ٤٣.٤" ٥٥' ٢٤° و ٢٧.١" ٥٨' ٢٤° شمالاً وبين خطي طول ٨" ٤١' ٣٤° و ١٢.٢" ٤٤' ٣٤° شرقًا، وتبلغ جملة مساحته نحو ١٧.٥ كم٢[(٢)]. ويقع المنجم ضمن حدود حوضي السكري والعلم، وهما من أحواض الروافد الرئيسية في حوض وادي علم.

إشكالية الدراسة:

توجد العديد من المناطق في الأراضي المصرية تمثل مجالاً وأماكن للتحجير من جهة أو للتعدين من جهة أخرى، ومن ضمن هذه المناطق منطقة منجم السكري للذهب في صحراء مصر الشرقية، وقد لوحظ أن مواضع هذه الأنشطة لم تلق اهتمام دراسي

---

(١) شركة السكري لمناجم الذهب Sukari Gold Mines (SGM): شركة أنشئت بين الهيئة المصرية العامة للثروة المعدنية وشركة سنتامين Centamin المملوكة لشركة الفرعونية لمناجم الذهب. ويتم دفع ٣% من الإنتاج كإتاوة للحكومة المصرية، ويتم خصم جميع تكاليف الإنتاج من النسبة الباقية، ثم يقسم الباقي بالتساوي بين الهيئة المصرية العامة للثروة المعدنية وشركة سنتامين https://www.centamin.com/production/sukari/licence-overview.

(٢) تمثل هذه المساحة نحو ١٧.٥ % من جملة مساحة منطقة الامتياز المحددة للشركة (١٦٠ كم٢)، واتضح بعد توقيع حدود هذه المنطقة على الخرائط الطبوغرافية اعتمادًا على الإحداثيات الواردة في التقرير التقني (Sukari Gold Project-Technical Report, 2015, P. 186)، أن منطقة الامتياز تقع في أحواض علم وأم تنضبة وغدير، وجميعها تصب في البحر الأحمر عند مرسى علم وإلى الجنوب منها.

المصدر: إعتمادًا على: ١- نموذج الارتفاع الرقمي Carto-5 المنتج من خريطة جبل السكري، مقياس ١: ٢٥.٠٠٠. ٢- تم ترقيم حدود حوض وادي علم من صور محفوظة من برنامج جوجل إيرث والخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٢٥.٠٠٠ إنتاج إدارة المساحة العسكرية في ٢٠٠٤.

شكل (١) موقع وحدود منطقة الدراسة

سواء من الناحية الجيومورفولوجية أو من ناحية رصد التغيرات الجيومورفولوجية الناتجة عن التدخلات البشرية، ولعل من أهم هذه التغيرات إزالة لبعض الظاهرات الجيومورفولوجية وإنتاج ظاهرات أخرى بشرية النشأة، كما أن رصد التغيرات في دراسات

رصد التغير عادة ما يتم في الاتجاه الأفقي اعتمادًا على التغير الطيفي، بينما تهتم الدراسة الحالية برصد التغيرات أفقيًا ورأسيًا، وذلك عن طريق تطبيق منهجية جديدة تتمثل في دمج بيانات الاستشعار عن بعد ونماذج الارتفاع الرقمية في تواريخ مختلفة لرصد التغيرات الأفقية والرأسية في منطقة منجم السكري، وهي تغيرات مهمة جدا في الدراسات الجيومورفولوجية، بما قد يساعد في تطبيقها في دراسات رصد التغيرات عامة والتغيرات الجيومورفولوجية خاصة في المستقبل.

أهداف الدراسة:

يمكن إيجاز أهم أهداف الدراسة فيما يلي:

١- تقديم دراسة جيومورفولوجية تطبيقية عن منجم السكري للذهب.

٢- دراسة تأثير الخصائص الجيولوجية على تركز خام الذهب وتعدينه بمنطقة الدراسة.

٣- دراسة تأثير الخصائص التضاريسية والجيومورفولوجية على توزيع المنشآت التعدينية بمنطقة الدراسة.

٤- توضيح دور الإنسان كعامل جيومورفولوجي مهم في تشكيل المناطق التعدينية؛ خاصة في ظل ندرة الدراسات الجيومورفولوجية التي تهتم بهذا الموضوع.

٥- إنتاج نموذج ارتفاع رقمي حديث للمنجم اعتمادًا على المرئيات الفضائية الرادارية، وتحديد مدى كفاءة هذه النموذج في رصد التغيرات الجيومورفولوجية.

٦- رصد التغيرات الجيومورفولوجية الناتجة عن التعدين بتطبيق منهجية جديدة تعتمد على دمج المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية في تواريخ مختلفة، بما يجعل الدراسة الحالية من أوائل الدراسات الجيومورفولوجية العربية والمصرية التي تستخدم هذه المنهجية.

٧- دراسة الأشكال الأرضية الناتجة عن التدخل البشري في المنطقة.

مناهج الدراسة وأساليبها:

اعتمدت الدراسة على عدد من المناهج من أهمها التطبيقي والموضوعي. كما اعتمدت الدراسة على عدد من الأساليب منها: الكمي، والمقارن، والوصفي التحليلي، والكارتوجرافي. وقد تم استخدام عددًا من البرامج المتخصصة مثل: Arc GIS 10.3, Envi, 5.3 and SNAP.

مصادر الدراسة:

أ- الدراسات السابقة:

١- **دراسات اهتمت برصد التغيرات الناتجة عن التدخل البشري**: وقدم في هذا الأمر عدد كبير من الدراسات الأجنبية والعربية، **وبالنسبة للدراسات الأجنبية فعلى سبيل المثال لا الحصر**: دراسة (Singh, 1989) عن الطرق الرقمية لرصد التغير باستخدام بيانات مستشعرة عن بعد، ودراسة (Lu, et al., 2004) عن طرق رصد التغير، ودراسة (Smith & Pain, 2009) عن تطبيقات الاستشعار عن بعد في الجيومورفولوجيا، ودراسة

(James et al., 2012) عن رصد التغير الجيومورفولوجي باستخدام الاختلافات بين الخرائط التاريخية ونماذج الارتفاع الرقمية، ودراسة (Krauß, et al., 2013) عن إنتاج نموذج الارتفاع الرقمي الآلي ورصد التغير الثلاثي الأبعاد من المرئيات الفضائية. كما توجد دراسات أخرى اهتمت بالجيومورفولوجيا البشرية أو الأنثروبوجيومورفولوجية، ومنها: دراسة (Szabo, David & Loczy, 2010) وتحمل عنوان الجيومورفولوجيا البشرية والأشكال الأرضية البشرية النشأة، ودراسة (David, 2010) عن التحجير والمعادن الأخرى، وقد رصد فيه التدخلات البشرية الناتجة عن التعدين والتحجير، وأهم الأشكال الأرضية الناتجة عن ذلك، ودراسة (Mossa & James, 2013) عن تأثيرات التعدين على الأنظمة الجيومورفولوجية، وهناك أيضًا دراسة (Goudi & Viles, 2016) عن الجيومورفولوجيا في عصر الإنسان.

ومن الدراسات العربية التي اهتمت برصد التغيرات الجيومورفولوجية ودور الإنسان كعامل جيومورفولوجي: دراسة (كليو،١٩٨٥) وركزت على دور الإنسان في العمليات الجيومورفولوجية الفيضية، ودراسة (آل سعود،٢٠٠٤) عن تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة زحف الكثبان الرملية في واحة الإحساء، ودراسة (معتمد،٢٠٠٥) عن رصد التدخل البشري في غرب الدلتا باستخدام بيانات مستشعرة عن بعد، ودراسة علام (Allam, 2008) عن الآثار الجيومورفولوجية والبيئية للتحجير في منطقة القاهرة الكبرى، ودراسة (شلبي،٢٠١٢) عن أثر التدخل البشري على جيومورفولوجية الشواطئ البحرية في مدينة بورسعيد، ودراسة (تمام،٢٠١٣) عن



التغيرات الجيومورفولوجية الناجمة عن التدخل البشري في ساحل البحر الأحمر بين السويس ومرسى علم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ودراسة (حسن،٢٠١٥) عن التغيرات الجيومورفولوجية في الهامش الصحراوي بشرق دلتا النيل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

٢- **دراسات خاصة عن منجم السكري:** وتقتصر على عدد من الدراسات الجيولوجية، ومنها: (Botros, 2004; Helmi, et al., 2004; Khalil, et al., 2015 & Abdelwahed, et al., 2016)، وقد اهتمت بجيولوجية منطقة المنجم، من خلال دراسة الصخور والبنية الجيولوجية والتطور الجيولوجي، وأسباب تركز الذهب وغيرها من الموضوعات. بالإضافة إلى التقارير والنشرات الصادرة عن شركة سنتامين Centamin، وبها تقارير تقنية وأخرى تقارير سنوية لما تم في المنجم. ولا توجد أية دراسة جيومورفولوجية خاصة بمنطقة المنجم، وجميع الدراسات الجيومورفولوجية التي درست حوض وادي علم، اهتمت به من ناحية السيول.

وبناءً عليه لم تهتم أي من الدراسات السابقة بدراسة جيومورفولوجية منطقة المنجم، ودراسة الآثار التضاريسية والجيومورفولوجية الناتجة عن التعدين، كما لم تقم الدراسات العربية السابقة برصد التغيرات الأفقية والرأسية عن طريق دمج المرئيات الفضائية مع نماذج الارتفاع الرقمية في سنوات مختلفة، بما يساعد على رصد التغيرات الأفقية والرأسية في الظاهرات الجيومورفولوجية.

ب- الخرائط:

١- **الخرائط الجيولوجية:** لوحة جبل حماطة، مقياس رسم ١: ٥٠٠.٠٠٠، إنتاج الهيئة المصرية العامة للبترول وكونكو كورال في سنة ١٩٨٧.

٢- **الخرائط الطبوغرافية:** خريطة جبل السكري مقياس رسم ١: ٢٥.٠٠٠ إنتاج إدارة المساحة العسكرية في سنة ٢٠٠٤، وقد استخدمت في دراسة الخصائص التضاريسية لمنطقة المنجم قبل بدء التعدين، وتوظيفها في بناء عملية التغير بالمنطقة.

ج- المرئيات الفضائية:

١- **المرئية الفضائية Landsat8-OLI** بتاريخ ١١ مايو ٢٠١٩، وتم تحميلها من الموقع الإلكتروني: https://earthexplorer.usgs.gov/.

٢- **المرئية الفضائية Sentinel-2** بتاريخ ٢٤ نوفمبر ٢٠١٩، وتم تحميلها من الموقع الإلكتروني: https://earthexplorer.usgs.gov/.

٣- **المرئية الرادارية Sentinal-1A:** تم الاعتماد على مرئيتين بتاريخ ٢ و٢٦ أكتوبر ٢٠١٩، وتم تحميلهما من الموقع الإلكتروني:https://baseline.asf.alaska.edu/.

د- صور محفوظة من برنامج جوجل إيرث عالية الدقة المكانية:

يوفر برنامج جوجل إيرث مجموعة متنوعة من الصور الفضائية عالية الدقة المكانية، وتم حفظ صور منطقة الدراسة بصيغة Jpg من برنامج Google Earth 2016،

وكانت بتواريخ من٢٠٠٤–٢٠١٨، وتم استخدامها في دراسة الخصائص الجيومورفولوجية لمنطقة المنجم قبل بدء التعدين، كما استخدمت في رصد التغيرات بعد التعدين، وكذلك في تحديد أماكن السدود الركامية لحماية المنجم من أخطار الجريانات السيلية.

هـ- نماذج الارتفاع الرقمية:

١- **نموذج الارتفاع الرقمي Carto-5:** تم إنتاجه بدقة مكانية ٥ م، وذلك من خلال ترقيم نقط المناسيب وخطوط الكنتور من الخريطة الطبوغرافية جبل السكري، وتم إنتاجه بطريقة الاستيفاء Topo to Raster، وتم تقييمه إحصائيًا وبالفحص البصري، واتضح صلاحيته للاستخدام، ويمثل هذا النموذج سطح منطقة المنجم حتى عام ٢٠٠٤، أي قبل بدء التعدين.

٢- **نموذج الارتفاع الرقمي Sen-DEM-12.5:** قام الباحث بإنتاجه اعتمادًا على صور Sentinel-1 الفضائية الرادارية بتاريخ ٢ و٢٦ أكتوبر ٢٠١٩، وتبلغ دقته المكانية ١٢.٥ م، وتم تقييمه إحصائيًا وبالفحص البصري، وتم تصحيح الأخطاء الموجودة به، وأصبح صالحًا للاستخدام، ويمثل هذا النموذج سطح منطقة المنجم في أكتوبر ٢٠١٩، وسيتم عرض هذا النموذج بالتفصيل في متن البحث.

٣- **نموذجا الارتفاع الرقمي SRTM-1 & SRTM-3:** بدقة مكانية نحو ٣٠ و٩٠ م على التوالي، وتم تحميلهما من الموقع الإلكتروني: https://earthexplorer.usgs.gov/

و- الدراسة الميدانية:

قام الباحث بثلاث دراسات ميدانية لمنطقة منجم السكري، وذلك في يوم ٣ مارس ٢٠١٥، و٢٠ فبراير ٢٠١٨، و٧ فبراير ٢٠١٩. وقد تم خلالها التقاط العديد من الصور الفوتوغرافية، ورصد بعض التغيرات الجيومورفولوجية والتضاريسية.

عناصر البحث:

أولا: الخصائص الجيولوجية لمنطقة الدراسة.

ثانيًا: الخصائص التضاريسية والأشكال الأرضية الرئيسية بالمنطقة قبل التعدين الحالي.

ثالثًا: طرق تعدين واستخلاص الذهب في منجم السكري.

رابعًا: إنتاجية منجم السكري والاحتياطي.

خامسًا: دور الانسان كعامل جيومورفولوجي في منطقة منجم السكري.

سادسًا: النتائج والتوصيات.

أولاً: الخصائص الجيولوجية لمنطقة الدراسة:

أ- الصخور:

١- الصخور النارية والمتحولة:

تعد الصخور النارية والمتحولة جزءًا من صخور الكتلة العربية – النوبية التي يرجع عمرها إلى حقبة البروتيروزويك الأعلى (من ٩٠٠-٦٥٠ مليون سنة) (Khalil,

et al., 2015, P. 30). وتتنوع هذه الصخور كما هو واضح في شكل (٢)، ويمكن تتبعها من الأقدم إلى الأحدث: الجابرو، وطفوح اللافا الوسائدية[١]، والأنديزايت، والكنجلوميرات المتحولة، والبازلت، والصخور الفتاتية البركانية (الطف Tuff)، والرسوبيات المتحولة، وصخور جرانيت السكري البورفيري[٢]. كما يلاحظ انتشار عروق وعريقات الكوارتز ومناطق التغير بوضوح في جبل السكري. ويتضح من قراءة الخريطة الركنية في شكل (٢) أن باقي المنطقة توجد بها صخور بركانية متحولة قاعدية، ورسوبيات متحولة، وتوجد بركانيات متحولة حمضية إلى متوسطة ولكن بمساحات أصغر.

وتعد صخور جرانيت السكري هي الصخور الحاوية للذهب في المنطقة، وتنقسم إلى الجرانيت القديم والحديث. وتشير الجيولوجيا الإقليمية لمنطقة المنجم أن صخور الجرانيت تداخلت في تتابعات أقدم من الصخور الرسوبية البركانية وتجمعات صخور الأوفيوليت المحيطية. ويظهر جبل السكري ككتلة مرتفعة من الصخور الجرانيتية الأحدث عمرًا من الصخور المحيطة به، والتي تكون تلالاً أقل ارتفاعًا (Khalil, et al., 2015, P. 30). ويدل ذلك على أن صخور جرانيت السكري تراكمت في جزء من قوس جزيري Arc Island، وقد ارتفع هذا القوس نتيجة لتقارب لوح تكتوني محيطي يقع في الشرق مع آخر قاري يقع في الغرب (Botros, 2004, PP. 7, 8). وتمتد صخور جرانيت

---

(١) اللافا الوسائدية Pillow lava: عبارة عن لافا بركانية تكونت في البحار والبحيرات وتجمدت على هيئة كتل كالوسائد، وتتميز به اللافا البازلتية والأنديزايت (مشرف، ٢٠١٣، ص١٤٦٩).

(٢) تعرف أيضًا بجرانيت بورفيري السكري، وصخور السكري البلوتونية، وستستخدم الدراسة الحالية اسم جرانيت السكري، وتتسم هذه الصخور بأنها كبيرة البلورات.

السكري لمسافة تبلغ نحو ٢٣٠٠ م، ويتراوح سمكها بين ١٠٠–٦٠٠ م (Sukari Gold Project–Technical Report, 2015, P. 42).

المصدر: اعتمادًا على: ١- أنواع الصخور من: (Gold Project-Technical Report, 2015, P. 41). ٢- الصدوع ونطاقات القص من: (Helmy, et al., 2014, P. 498. 3). ٣- الخريطة الركنية من إعداد الباحث اعتمادًا على التصنيف الموجه للمرئية الفضائية LandSat8-OLI بتاريخ ١١ مايو ٢٠١٩. ٤- حدود المناطق الجغرافية للمنجم من Centamin Plc Annual Report, 2010, P. 7.

شكل (٢) أنواع الصخور والملامح البنائية لمنطقة الدراسة

٢- رواسب بطون الأودية:

تتمثل رواسب بطون الأودية في رواسب وادي السكري الرئيسي وبعض روافده، وبعض روافد وادي العلم، وهذه الروافد لا تحمل أسماء على الخرائط الطبوغرافية ١: ٢٥.٠٠٠، وقد جلبت هذه الأودية الرواسب من الجبال والتلال المجاورة لمنطقة المنجم مثل: أبو عروق وحنجلية والسكري وغيرها، ولذلك فإن رواسب بطون الأودية جميعها ذات أصول نارية ومتحولة. وتجدر الإشارة إلى أن الرواسب المتاخمة لجبل السكري تحتوي على رواسب الذهب[١]، وقد تم تعدين هذه الرواسب في فترات تاريخية سابقة.

ب- بنية منطقة منجم السكري:

يلاحظ من قراءة شكلي (٢ و٣) أن منطقة الدراسة جزء من بنية قبابية تقع بين قبة حفافيت وساحل البحر الأحمر، وتأخذ اتجاهًا رئيسيًا شمالي غربي – جنوبي شرقي في الغرب، وشمالي شرقي–جنوبي غربي بالاقتراب من البحر. وتكثر بالمنطقة الصدوع الدسرية[٢] والمضربية اليسارية الاتجاه، ونطاقات القص، والصدوع العادية (Helmy, et al., 2014, PP.409-501). وقد أدت الصدوع والقص الشديد إلى ارتفاع كتلة جبل

---

(١) يتميز الذهب بأنه ذو ثقل نوعي كبير، ولذا عندما تتعرض الصخور الحاملة للذهب للتجوية والتعرية فإنها تتفتت وتنقل إلى قيعان الأودية، ولكنها تكون على مقربة من مصدرها وذلك لثقلها النوعي (بطرس، ٢٠١٥، ص٣٣).

(٢) الصدع الدسري أو الدفعي: كسر في قشرة الأرض ينشأ من الضغط الشديد ويؤدي ذلك إلى تحرك علوي للحائط المعلق بالنسبة لحائط القدم للصدع، وله زاوية حادة في طبقات الصخر حيث يندفع جزء منه فوق جزء مقابل على طول مستوى الكسر (مشرف، ٢٠١٣، ص ٢٠٠٦).



السكري، وظهور العديد من الأشكال البنائية في الصخور مثل التشوه والتقوس والانثناء، كما ارتبط بها خروج محاليل مائية حارة مصاحبة للإنبثاق الصهاري، مما أدى إلى تغير[١] الصخور الجرانيتية وتمعدن الذهب، وقد تم تقدير عمر تمعدن ذهب منجم السكري بنحو ٥٣٠ مليون سنة (Khalil, et al., 2015, PP. 32, 34).

ج- أسباب تمعدن الذهب في منجم السكري:

يوجد الذهب في جبل السكري في عدة أشكال، **هي:** عروق وعريقات الكوارتز، ومناطق التغير، وعلى طول خطوط تماس الصخور الحمضية والقلوية، وفي نطاقات القص، وفي رواسب بطون الأودية المتاخمة لجبل السكري[٢] (Khalil, et al., 2015, PP. 35, 36)، ويتركز الذهب بوضوح عند تقاطع نطاقي القص، أي في جبل السكري كما هو واضح في شكل(٢) (Helmy, et al., 2014, PP. 497, 501). وقد أدى تداخل صخور الجرانيت الحديث إلى حدوث تغيرات قوية بسبب المحاليل المائية الحارة، التي لعبت الدور الرئيسي في إثراء إمكانات التمعدن في منطقة السكري (Khalil, et al., 2015, P. 31).

(١) تم تسجيل عدة أنواع للتغير في المنطقة منها: الجرفته والكبرته وغيرها. وتعد عملية الجرفتة أكثرها شيوعًا في معظم مناطق تمعدن الذهب بالمنطقة، ولعبت دورًا رئيسيًا في ترسيب الذهب في الصخور الحاوية له في منطقة السكري (Khalil, et al., 2015, P. 33).

(٢) غير الاكتشاف التجاري للذهب في منجم السكري الفكر السائد عن ارتباط الذهب بعروق الكوارتز فقط؛ حيث يتم حاليًا استخراج الذهب من داخل الصخور أيضًا، ولا يقتصر فقط على عروق الكوارتز (بطرس، ٢٠١٥، ص٢٣٩).

وبالتالي فإن تمعدن الذهب في منجم السكري ارتبط بخصائص تكوين صخور الجرانيت وخاصة الخصائص الميكانيكية، حيث تتسم بأنها ذات نسيج بورفيري، وقد أدت نطاقات القص والصدوع بأنواعها إلى تداخل لصخور الجرانيت، وحدوث تغير كلي لها بواسطة المحاليل المائية الحارة، وأدى كل ما سبق إلى تعدد أشكال وجود الذهب في جبل السكري.

٣٤°٢٠' ٣٤°٣٠' ٣٤°٤٠' ٣٤°٥٠' ٣٥°

٢٥° ٢٤°٥٠' ٢٤°٤٠' ٢٤°٣٠'

مرسى علم

البحر الأحمر

منطقة منجم السكري

مجسم منطقة منجم السكري

قبة حفافيت

١٠ ٠ ١٠ كم

صدوع دسرية

نطاقات قص (واتجاه الإزاحة الأفقية)

صخور رسوبية (الفانيروزويك)

صخور رسوبية مولاس عجلة

صخور الجرانيت

معقد غاشيات الحركة الأفريقية

معقد القاعدة قبل الحركة الأفريقية

عروق كوارتز

Source: Helmy, et al., 2014, P. 498.

ملحوظة: الخريطة الركنية عبارة عن مجسم لمنطقة منجم السكري المحددة بالمربع المحدد بالإطار الأسود في الخريطة الرئيسية.

شكل (٣) خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة منجم السكري

ثانيًا: الخصائص التضاريسية والأشكال الأرضية بالمنطقة قبل بدء التعدين الحالي:

يمكن دراسة الخصائص التضاريسية والأشكال الأرضية بمنطقة الدراسة قبل بدء التعدين الحالي، اعتمادًا على شكلي (٤ و٥)، وذلك لعمل إعادة بناء لطبيعة المنطقة وخصائصها، وذلك كما يلي:

- كانت منطقة المنجم ذات تضاريس متنوعة، حيث تضم جبالًا وتلالًا وسهولًا. وتتراوح ارتفاعاتها بين ٣٠٠ – ٦٢٩م. ويقطع سطحها العديد من الأودية الجافة التي تقع رتبة مجاريها بين الرتبتين الأولى والسادسة. وتقع هذه الأودية في حوضي السكري والعلم. ويلاحظ أن جبل السكري الجبل الوحيد الذي يوجد بالكامل في داخل المنطقة، كما توجد بعض التلال المجاورة له، بينما تتسم الأجزاء الغربية من المنطقة بوجود منطقة سهلية نسبيًا تمثل قاع وادي السكري، ويحدد الوادي من الغرب جبل أبو عروق.

- يأخذ جبل السكري اتجاهًا عامًا شمالي شرقي – جنوبي غربي لمسافة ٢.٥ كم، ويتراوح عرضه بين ١٥٠ م – ١ كم بمتوسط ٥٧٥ م، وتبلغ مساحته نحو ١.٧ كم^{٢}. ويتكون في معظمه من صخور الجرانيت، بالإضافة إلى صخور الأنديزايت والطف والرسوبيات المتحولة التي توجد عند أقدامه، وتتسم قمة الجبل بأنها حادة ومحورية ومقطعة في هيئة مسننة (صورة ١). وتعد القمة الموجودة في الجزء الشمالي من الجبل هي أعلاها ارتفاعًا (٦٢٩ م). ويتراوح الارتفاع المحلي للجبل بين ١٥٠–٣٠٠م فوق

قاع وادي السكري. ويقطع منحدراته العديد من الأودية الجافة، التي تنبع منه وتتصرف إلى وادي السكري الرئيسي، وبهذا يصبح نمط التصريف السائد نمطًا اشعاعيًا.

جبل أبو عروق
وادي السكري
جبل السكري
وادي فرعون
وادي العلم
كم
نقط مناسيب بالمتر
مجاري جافة من الرتبة الأولى إلى السادسة
خطوط كنتور عادية بفاصل ٢٠ م
منطقة الدراسة
خطوط كنتور دليل بفاصل ١٠٠ م

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على الخريطة الطبوغرافية لجبل السكري، مقياس ١: ٢٥.٠٠٠.

شكل (٤) الخريطة الكنتورية لمنطقة الدراسة قبل بدء التعدين الحالي

٣٤°٤٢' ٣٤°٤٤'

٢٤°٥٨' ٢٤°٥٦'

نقط مناسيب بالمتر

مجاري جافة من الرتبة الأولى إلى السادسة

حدود منطقة الدراسة

صدوع دسرية (المثلثات ناحية الرمية السفلية)

صدوع عادية (الهاشور ناحية الرمية السفلية)

فواصل وشقوق

جبل السكري

تلال

جزر صخرية (جنادل)

مروحة فيضية

قيعان الأودية

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على: ١- تم ترقيم نقط المناسيب والمجاري الجافة من الخريطة الطبوغرافية لجبل السكري، مقياس ١: ٢٥.٠٠٠. ٢- تم ترقيم الصدوع والفواصل من خريطة واردة في دراسة (Abdelwahed, et al., 2016, P. 44)، ٣- تم ترقيم حدود الظاهرات الجيومورفولوجية من صورة محفوظة من برنامج جوجل إيرث، والتقطت بتاريخ ١٦ فبراير ٢٠٠٤.

شكل (٥) الخريطة الجيومورفولوجية لمنطقة الدراسة قبل بدء التعدين الحالي

القمم المتقطعة
منطقة فرعون
منطقة غزالي خلف رع
منطقة رع
حدود المناطق الجغرافية
منطقة آمون
صخـــور جرانيت السكري البورفيريـــة
صخـــور رسوبية متحولة وصخور فتتاتية بركانية
صدع دسري
قاع السكري الرئيسي
حواجز إرسابية
تلال قاع الوادي
حواجز إرسابية
قاع أحد روافد وادي السكري

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على: ١- الصورة من ملف PDF المحمل من الموقع الإلكتروني: https://www.apet-eg.com/PDF/Modern %٢٠Mining%٢٠&%٢٠processing%٢٠Technology%٢٠at%٢٠Sukari%٢٠Gold%٢٠mine.pdf

٢- تم رسم الصدع الدسري اعتمادًا على: (abdelwahed, et al., ٢٠١٦, P. ٤٧).

صورة (١) جبل السكري قبل بدء التعدين الحالي

- يوجد في منطقة منجم السكري عدد آخر من الملامح في صور تلال تتراوح ارتفاعات قممها بين ٣٢٤ -٥١٦ م فوق سطح البحر، بينما تتراوح ارتفاعاتها المحلية بين بضعة أمتار وأكثر من ٢٠٠ م، وتمثل جملة مساحتها نحو ٨.٤ كم٢، وهي تمثل جزء من إقليم جبال البحر الأحمر، وتتألف من صخور بركانية متحولة قاعدية، وصخور رسوبية متحولة، ومساحات صغيرة من البركانيات المتحولة الحمضية إلى المتوسطة. وتنتشر بها الصدوع الدسرية، ويقطع سطح تلال المنطقة عددًا كبيرًا من الأودية التي ينصرف معظمها إلى وادي السكري، وينصرف القليل منها إلى وادي العلم.

- يظهر قاع وادي السكري الرئيسي كمنطقة تميل إلى الهيئة السهلية الواسعة، وتبلغ مساحته نحو ٦.٦ كم٢. ويحد هذا القاع من الشرق جبل السكري وأحد التلال الواقعة في جنوبه الغربي، بينما يحده من الغرب جبل أبو عروق. وقد لوحظ من تحليل المرئية الفضائية كثرة المجاري المضفرة في قاع الوادي، ويرجع ذلك إلى الجريانات السيلية غير المنتظمة، وقلة انحدار سطح الأرض في قاع الوادي، وأيضًا اتساع الوادي لأكثر من كيلومتر واحد في معظم قطاعه بمنطقة الدراسة. كما يوجد في قاع الوادي العديد من الجزر والحواجز الإرسابية، هذا بالإضافة إلى عدد كبير من الجزر الصخرية المتخلفة عن النحت، والتي تظهر كتلال بارتفاعات تصل لبضعة أمتار فوق قاع الوادي.

- توجد في منطقة المنجم مروحة فيضية واحدة تقع عند منطقة إلتقاء أحد روافد وادي السكري بالوادي الرئيسي في جنوب غرب المنطقة (شكل٥)، ويرجع تكونها إلى شدة انحدار مجرى هذا الرافد فوق جبل أبو عروق، وقلة انحدار منطقة المصب، مما أدى إلى

إرساب الوادي لجزء من حمولته وتكوين مروحة فيضية تبلغ مساحتها نحو ٠.٥ كم٢. وتتسم هذه المروحة باتخاذها الشكل المروحي بسبب اتساع المنطقة التي ترسبت بها.

– توجد في المنطقة العديد من الحافات الصدعية، معظمها ناتجة عن الصدوع الدسرية، ومعظمها ذات رمية صدع ناحية الغرب، والقليل منها ذات رمية صدع ناحية الشرق، كما يوجد صدعان عاديان في جبل السكري، **الأول** في منطقة فرعون في الجزء الشمالي من الجبل، ورمية الصدع ناحية الجنوب، **والثاني** في منطقة رع، ورمية الصدع ناحية الجنوب أيضًا.

– يتضح من قراءة شكل (٦– أ) وجدول (١) أن درجات الانحدار بمنطقة المنجم تتراوح بين ٠–٧٨°، بمتوسط ١١.٢° وانحراف معياري ١٢.٨°، ونسبة اختلاف ١١٤.٣%، وهي اختلافات كبيرة ترجع إلى تعدد الأشكال وتنوع الارتفاعات في المنطقة، وبهذا تقع منطقة المنجم ضمن الأراضي فوق المتوسطة الانحدار تبعًا لتصنيف (Young, 1972). وتمثل فئة الأراضي المستوية وشبه المستوية السطح (٠–٥°) ٤٩.١ % من جملة مساحة المنطقة، وتتركز في الأجزاء الغربية، بينما تمثل فئة الأراضي متوسطة الانحدار (٥–١٠°) ١٧.١ % من جملة المساحة، وترتبط بأقدام المرتفعات، بينما تمثل فئة الأراضي فوق المتوسطة الانحدار (١٠–١٨°) ١٣.٦ % من جملة مساحة المنطقة، وتجاور الفئة السابقة، بينما تمثل فئة الأراضي من (١٨–٧٨°) نحو ٢٠.٣%، وتتمثل في منحدرات جبل السكري والتلال الموجودة في منطقة الدراسة.

– ومن حيث التقوس فقد تم حسابه اعتمادًا على نموذج Carto-5 وباستخدام برنامج

Arc GIS 10.3، وعرضت النتائج في شكل (٦– ب)، وجدول (٢)، ويلاحظ من قراءتهما أن درجات التقوس في المنطقة تراوحت بين –٩٠ إلى ٨٦ °، وعلى الرغم من اتساع المدى إلا أن هناك تركز في درجات التقوس بين –١٠ إلى ١٠°. ويمكن تقسيم التقوس إلى ثلاث أقسام رئيسية، يشمل **الأول** الأجزاء المستقيمة (تقوسها صفر°) وتمثل

جدول (١) الفئات الرئيسية لدرجات الانحدار في منطقة الدراسة قبل بدء التعدين

فئات درجات الانحدار	كم٢	%
الأراضي المستوية إلى هينة الانحدار (من ٠ - ٥°)	٨.٦	٤٩.١
الأراضي متوسطة الانحدار (من ٥ - ١٠°)	٣	١٧.١
الأراضي فوق متوسطة الانحدار (من ١٠ - ١٨°)	٢.٤	١٣.٦
الأراضي شديدة الانحدار (من ١٨ - ٣٠°)	٢.٣	١٣.١
الأراضي شديدة الانحدار جدا (من ٣٠ - ٤٥°)	١.١	٦.٣
الحافات الرأسية وشبه الرأسية (من ٤٥ - ٧٨°)	٠.١	٠.٨
الجملة	**١٧.٥**	**١٠٠**

المصدر: من إعداد الباحث إعتمادًا على نتائج درجات الانحدار المحسوبة آليًا من نموذج Carto-5، وباستخدام خوارزمية Horn, 1981 برنامج Arc GIS 10.3.

جدول (٢) فئات درجات تقوس منحدرات منطقة الدراسة قبل بدء التعدين

فئات التقوس	العناصر المستقيمة		٧٩٦٦.٥ ألف م٢		٤٥.٦ %	
	العناصر المقعرة		العناصر المحدبة		جملة الفئات	
	المساحة (ألف م٢)	% من المنطقة	المساحة (ألف م٢)	% من المنطقة	المساحة (ألف م٢)	% من المنطقة
من صفر-<١٠°	٣٥٠٩.٢	٢٠.١	٥٩٩٥.٢	٣٤.٣	٩٥٠٤.٤	٥٤.٤
من١٠-<٢٥°	٠.٤	٠.٠٠٢	١.٢	٠.٠٠٧	١.٦	٠.٠١
من٢٥° فأكثر	٠.١	٠.٠٠٠١	٠.١	٠.٠٠١	٠.٢	٠.٠٠١
جملة المنطقة	٣٥٠٩.٧	٢٠.١	٥٩٩٦.٥	٣٤.٣	٩٥٠٦.٢	٥٤.٤

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على الحساب الآلي لتقوس القطاع من نموذج الارتفاع الرقمي Catro-1، وباستخدام خوارزمية (Zevenbergen & Thorne, 1987) على برنامج ArcGIS10.3.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على برنامج Arc GIS 10.3 ونموذج الارتفاع الرقمي Carto-5.

شكل (٦) درجات الانحدار والتقوس في منطقة الدراسة



نحو ٤٥.٦% من جملة مساحة المنطقة، وترتبط بقيعان الأودية، ويشمل **الثاني** الأجزاء المحدبة، ويمثل ٣٤.٣% من جملة المساحة، ويشمل **الثالث** الأجزاء المقعرة، بنسبة ٢٠.١% من جملة مساحة المنطقة. ويدل كل ما سبق على سيادة الأجزاء المستقيمة في المنطقة، وقلة درجات تقوس الأجزاء المحدبة والمقعرة، وتم حساب معامل الشكل العام للمنحدرات في المنطقة عن طريق قسمة جملة العناصر المحدبة ÷ جملة العناصر المقعرة (Doornkamp & King, 1971, P.138)، وبلغ الناتج ١.٧، مما يدل على سيادة الشكل المحدب في منحدرات المنطقة.

ثالثًا: طرق تعدين واستخلاص الذهب في منجم السكري:

يتم تعدين الذهب من المنجم بطريقتين، **الأولى:** التعدين السطحي من خلال طريقة الحفرة السطحية Open-Pit، **والثانية:** التعدين الباطني. ويتم التعدين الباطني حاليًا من خلال ثلاثة مناجم وبإتباع طريقة الأنفاق، ويتم سنويًا مد عدد كبير من الأنفاق بأطوال تصل إلى آلاف الأمتار في اتجاهات مختلفة. وقد بدأ التعدين الباطني من خلال منجم آمون الباطني؛ حيث يوجد المدخل الرئيسي للتعدين الباطني، ويبدأ من النفق المائل[(١)] لمنجم آمون النفق المائل لمنجم بتاح، أما المنجم الباطني الثالث فيتمثل في منجم كليوباترا الواقع في الطرف الشمالي الشرقي لجبل السكري. ويتم تعدين الذهب في المنجم باستخدام طرق التعدين التقليدية، فبعد القيام بالتفجير يتم نقل الخام إلى منصة الخام

---

(١) يقصد بالنفق المائل Decline Drifts: نفق مائل بزاوية تتراوح بين ٥ – ٢٠ °، ويستخدم لنقل المواد الخام والنفايات من داخل المنجم إلى سطح الأرض (زراك، ٢٠١٤، ص٤٧٦).

بجوار محطة المعالجة، وإما أن يتم توجيهها مباشرة إلى الكسارة أو تخزينها لاستخدامها في المستقبل، أما الصخور الخالية من الذهب فيتم نقلها لموقع من ثلاث مواقع في المنطقة (Centamin Prospectus 30 October 2009, Oct 2009, P. 30).

ويمكن تقسيم الخامات الموجودة في المنجم إلى قسمين، **الأول**: الخامات الغنية في الذهب، **والثاني**: الفقيرة في الذهب، ويتم استخلاص الذهب منهما كما يلي:

– يتم استخلاص الذهب من الخامات الغنية من خلال عدة مراحل: تبدأ بالتكسير ثم الطحن، ويلي ذلك التعويم لفصل المعادن الثمنية، ثم تصفية المنتج وتركيزه، ثم الطحن الدقيق للتركيزات الناتجة، يليها فصل المعادن الثمينة من نفايات التركيز أو التعويم في محلول سيانيد مخفف، ثم امتصاص[١] المعادن الثمينة باستخدام الكربون النشط، يليها امتصاصها من الكربون، وأخيرًا سكب سبيكة الذهب[٢]، ويتم تجميع نفايات التعويم والتركيز ثم ضخها في حوض تخزين النفايات (Centamin Prospectus 30 October 2009, P. 30).

– بينما يتم استخلاص الذهب من الخامات الفقيرة بطريقة رش الكومة Dump Leaching، وفيها يتم ترصيص المواد التي تم تفجيرها في شكل كوم فوق سطح غير

---

(١) يقصد بالامتصاص سحب مادة لمادة اخرى إما عن طريق الذوبان أو التفاعلات الكيميائية (مشرف، ٢٠١٣، ص٨).

(٢) تحتوي سبيكة الذهب Gold Doré المنتجة على نحو ٩٠ % من الذهب بالإضافة إلى معادن ثمينة أخرى كالفضة والنحاس، ويتم إرسال الكمية المنتجة أسبوعيًا إلى كندا ليتم تحقيق مستويات النقاء المطلوبة للتداول في أسواق الذهب (Centamin Annual Report, Oct 2009, P. 89).



منفذ للمياه، ثم رش هذا الكوم بمحلول السيانيد المخفف، ويأخذ هذا المحلول المعدن بواسطة الجاذبية الأرضية إلى برك لتجميع محلول المعدن، ويلي ذلك استخراج الذهب عن طريق الامتصاص على سطح حبيبات الكربون النشط (Centamin plc Annual Report, 2018, P. 207). ويوجد موقعان لرش الكومة يقعان بالقرب من حفرة التعدين السطحي، ويرتبط بكل موقع بركة لتجميع نواتج الرش.

رابعًا: إنتاجية منجم السكري والاحتياطي:

يمكن دراسة إنتاجية المنجم اعتمادًا على التقارير والمنشورات الصادرة عن شركة سنتامين خلال الفترة من ٢٠١٠ – ٢٠١٨. ومن قراءة جدول (٣) والشكل (٧ – أ، ب، ج، د) يلاحظ ما يلي:

– بلغت جملة كمية المواد التي تم نقلها من المنجم السطحي حتى نهاية عام ٢٠١٨ نحو ٤٠١.٦ مليون طن، منها نحو ٧٠.٤ مليون طن بها معادن ثمينة، والباقي خال من المعادن الثمينة، وبلغ إجمالي إنتاج الذهب خلال الفترة من ٢٠٠٩– ٢٠١٨ نحو ٣.٣٦ مليون أوقية (١٠٤٤٢١كجم)، بمتوسط سنوي ٣٣٥.٧ ألف أوقية، وانحراف معياري ١٧٦.٥ ألف أوقية.

– ترتفع سنويًا كمية الخامات المعالجة في المصنع؛ حيث ارتفعت من ٣.٦ – ١٢.٦ مليون طن في عامي ٢٠١١ و٢٠١٨ على التوالي؛ ويرجع ذلك إلى تنفيذ عدة مراحل لتوسيع المصنع ورفع قدرة معالجته السنوية، ويرجع الارتفاع الكبير في كمية الخام

المعالجة في المصنع عام ٢٠١٨ إلى فتح التعدين السطحي من مرحلتين جديدتين في شمال وغرب المنجم (Centamin plc Annual Report, 2018, PP. 3, 52).

جدول (٣) بعض البيانات الإحصائية عن الذهب في منجم السكري خلال الفترة من ٢٠٠٩ – ٢٠١٨

السنة	إجمالي المواد المنقولة من المنجم السطحي (مليون طن)	خام التعدين المعالج في المصنع (مليون طن)	معدل الذهب في الخام (جرام/الطن)		الإنتاج (ألف أوقية)
			من التعدين السطحي	من التعدين الباطني	
٢٠٠٩	غير متوفر				٦٦.٨٥٧
٢٠١٠	غير متوفر	١.٣٧٨	٢.٠٦	لم يبدأ	٨٣.٤٣٢
٢٠١١	٢١.٢٤٨	٣.٦١٢	١.٩١	١٣.٥١	٢٠٢.٦٩٩
٢٠١٢	٢٥.١٠٨	٤.٥٢٦	١.٣٥	٨.٩٦	٢٦٢.٨٢٨
٢٠١٣	٤١.٧١٨	٥.٦٨٤	١.٢٥	٩.٦٦	٣٥٦.٩٤٣
٢٠١٤	٤٤.٨٢٠	٨.٤٢٨	٠.٩٧	٦.١	٣٧٧.٢٦١
٢٠١٥	٥٧.٧٦٦	١٠.٥٧٥	٠.٧٨	٦.٤٧	٤٣٩.٠٧٢
٢٠١٦	٦٢.٢٣٨	١١.٥٥٩	٠.٩٥	٩.٠٤	٥٥١.٠٣٦
٢٠١٧	٧٠.٨٧٠	١٢.٠٣٢	٠.٨٩	٨.٢٨	٥٤٤.٦٥٨
٢٠١٨	٧٧.٨٧٧	١٢.٥٦٨	٠.٧٦	٥.٦٩	٤٧٢.٤١٨
الجملة	**٤٠١.٦٤٥**	**٧٠.٣٦٢**			**٣٣٥٧.٢٠٤**

المصدر: إعتمادًا على التقارير والنشرات السنوية لشركة سنتامين، والتي تم تحميلها من الموقع الإلكتروني https://www.centamin.com/production/sukari/overview.

أ
مليون طن
السنة: ٢٠٠٩ غير متوفر، ٢٠١٠ غير متوفر، ٢٠١١ ‎٢١.٢، ٢٠١٢ ‎٢٥.١، ٢٠١٣ ‎٤١.٧، ٢٠١٤ ‎٤٤.٨، ٢٠١٥ ‎٥٧.٨، ٢٠١٦ ‎٥٥١، ٢٠١٧ ‎٧٠.٩، ٢٠١٨ ‎٧٧.٩

ج
ألف أوقية
السنة: ٢٠٠٩ ‎٦٦.٩، ٢٠١٠ ‎٨٣.٤، ٢٠١١ ‎٢٠٢.٧، ٢٠١٢ ‎٢٦٢.٨، ٢٠١٣ ‎٣٥٦.٩، ٢٠١٤ ‎٣٧٧.٣، ٢٠١٥ ‎٤٣٩.١، ٢٠١٦ ‎٥٥١، ٢٠١٧ ‎٥٤٤.٧، ٢٠١٨ ‎٤٧٢.٤

ب
مليون طن
السنة: ٢٠٠٩ غير متوفر، ٢٠١٠ ‎١.٣٨، ٢٠١١ ‎٣.٦١، ٢٠١٢ ‎٤.٥٣، ٢٠١٣ ‎٥.٦٨، ٢٠١٤ ‎٨.٤٣، ٢٠١٥ ‎١٠.٥٨، ٢٠١٦ ‎٥٥١، ٢٠١٧ ‎١٢.٠٣، ٢٠١٨ ‎١٢.٥٧

د
جرام/الطن
في المنجم الباطني / في المنجم السطحي
السنة: ٢٠١٠ (السطحي ٢.٠٦، الباطني لم يبدأ)، ٢٠١١ (١.٩١، ١٣.٥١)، ٢٠١٢ (١.٣٥، ٨.٩٦)، ٢٠١٣ (١.٢٥، ٩.٦٦)، ٢٠١٤ (٠.٩٧، ٦.١)، ٢٠١٥ (٠.٧٨، ٦.٤٧)، ٢٠١٦ (٠.٩٥، ٩.٠٤)، ٢٠١٧ (٠.٨٩، ٨.٢٨)، ٢٠١٨ (٠.٧٦، ٥.٦٩)

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على بيانات جدول (٣).

شكل (٧) أ- كمية المواد المنقولة من التعدين السطحي. ب- كمية الخامات التي تمت معالجتها في المصنع.
ج- كمية الذهب المنتج من المنجم. د. معدل الذهب في الخام في المنجمين السطحي والباطني.



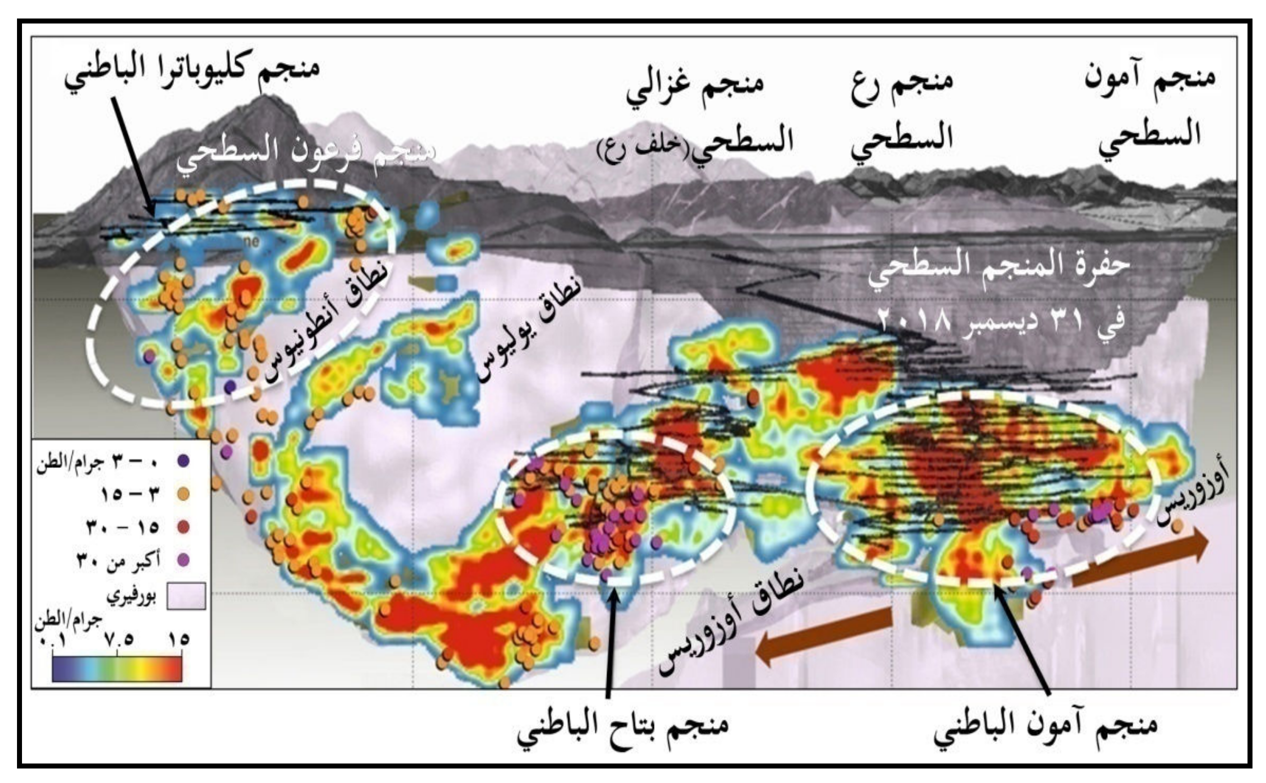
- ارتفع إنتاج الذهب بوضوح في السنوات من ٢٠١١ – ٢٠١٥؛ حيث ارتفع من ٢٠٢.٧ ألف أوقية في عام ٢٠١١ إلى ٤٣٩ ألف أوقية في عام ٢٠١٥، وسجل عام ٢٠١٦ أكبر إنتاجية للذهب بالمنجم، وبلغ نحو ٥٥١ ألف أوقية، ويرجع ذلك إلى ارتفاع معدل الذهب في الخام بمتوسط ١.٦٥ جرام/الطن، كما تم في عام ٢٠١٦ حفر منجم كليوباترا الباطني (Centamin plc Annual Report, 2018, P. 3).

- انخفض إنتاج الذهب في عامي ٢٠١٧ و٢٠١٨ عن عام ٢٠١٦، حيث بلغ نحو ٥٤٤.٦ و٤٧٢.٤ ألف أوقية على التوالي، ويعد عام ٢٠١٨ أقل الأعوام في إنتاج الذهب، وقد أرجع التقرير السنوي (Centamin plc Annual Report, 2018, P. 34) ذلك إلى انخفاض معدل الذهب في الخام بالتعدين السطحي والباطني.

- ينخفض معدل الذهب في الخام من التعدين السطحي عنه في التعدين الباطني. وقد تراوحت معدلات الذهب بين ٠.٧٩ – ٢.٠٦ جرام/الطن في التعدين السطحي في عامي ٢٠١٠ و٢٠١٨ على التوالي، بينما تراوحت بين ٥.٦٩ – ١٣.٥١ جرام/الطن في التعدين الباطني في عامي ٢٠١٨ و٢٠١١ على التوالي، وتختلف المعدلات من سنة إلى أخرى. ويلاحظ من قراءة (شكل ٨) أن تركزات الذهب في التعدين الباطني تختلف من جزء لآخر، حيث تتراوح بين ٠.١ – أكثر من ٣٠ جرام/الطن.

- بالنسبة لتقديرات احتياطي الذهب في منجم السكري، فيلاحظ من قراءة جدول (٤) وشكل (٩) اختلاف تقديرات الاحتياطي من عام لآخر؛ حيث تم تقدير الاحتياطي في

المنجم السطحي بنحو ٣.٧ مليون أوقية في عامي ٢٠٠٧ و٢٠٠٨، وارتفعت إلى ٦.٤ مليون أوقية في عام ٢٠٠٩، ثم إلى ٩.١ مليون أوقية في عام ٢٠١٠، ثم إلى ١٠.١ مليون أوقية في عام ٢٠١٢، وانخفضت التقديرات في ظل الاستخراج؛ حيث بلغت ٨.٨ مليون أوقية في عام ٢٠١٥، و٧.٢٥ مليون أوقية في عام ٢٠١٨، ويبلغ الاحتياطي في المنجم الباطني في عامي ٢٠١٧ و٢٠١٨ نحو ٠.٨ مليون أوقية.



المصدر: من إعداد وتعريب الباحث وبتصرف من الشكل الموجود في الموقع:

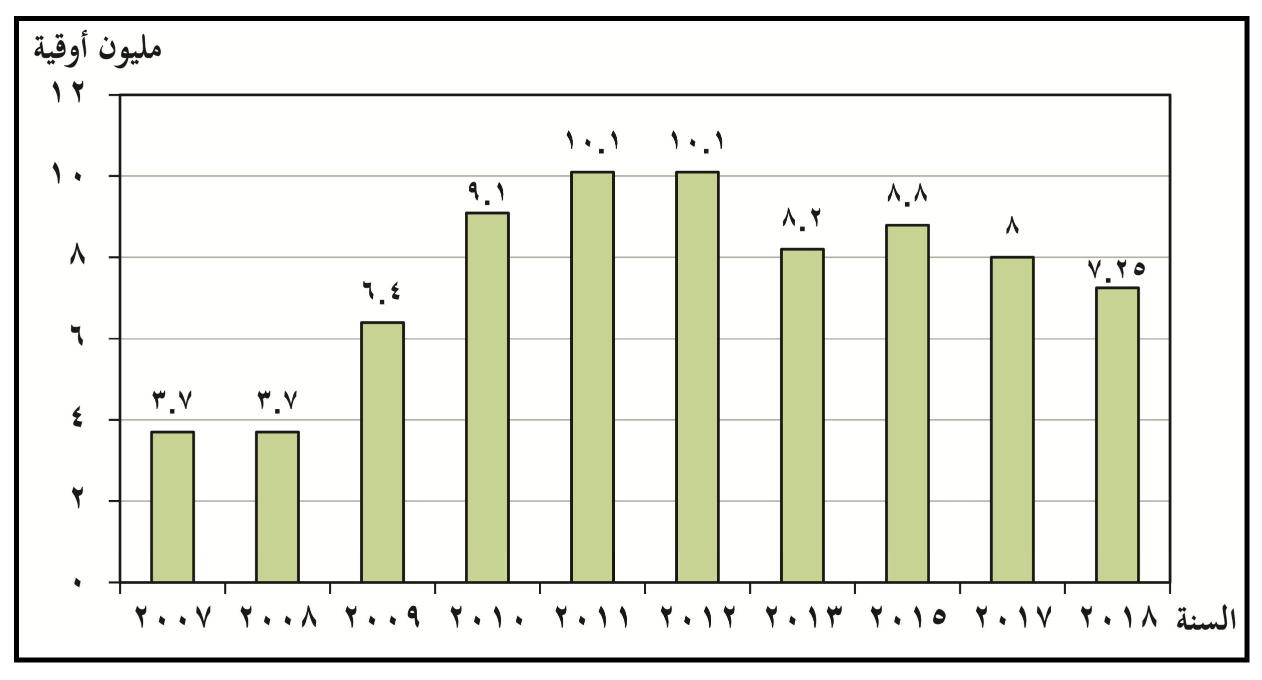
https://www.centamin.com/~/media/Images/C/Centamin/content-images/production.

شكل (٨) المناطق الجغرافية للتعدين السطحي ومناجم التعدين الباطني ومعدلات تركيز الذهب في الخام، وبرنامج العمل في المناجم الباطنية خلال عام ٢٠١٩

جدول (٤) احتياطي الذهب في منجم السكري خلال الفترة من ٢٠٠٧ – ٢٠١٨

السنة	الاحتياطي (مليون أوقية)	السنة	الاحتياطي (مليون أوقية)
٢٠٠٧	٣.٧	٢٠١٢	١٠.١
٢٠٠٨	٣.٧	٢٠١٣	٨.٢
٢٠٠٩	٦.٤	٢٠١٥	٨.٨
٢٠١٠	٩.١	٢٠١٧	٨
٢٠١١	١٠.١	٢٠١٨	٧.٢٥

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على: Sukari Gold Project-Technical Report, 2015, P. 91; Centamin plc Annual Report, 2018, P. 67.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على: Sukari Gold Project-Technical Report, 2015, P. 91; Centamin plc Annual Report, 2018, P. 67.

شكل (٩) تقديرات احتياطي الذهب في منجم السكري من ٢٠٠٧-٢٠١٨



خامسًا : دور الانسان كعامل جيومورفولوجي في منطقة الدراسة :

يمكن دراسة دور الإنسان كعامل جيومورفولوجي مهم في المنطقة من خلال توظيف ثلاثة عناصر رئيسية، يهتم **الأول:** بخريطة استخدام الأرض، ويشرح **الثاني** استخدام المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية في رصد التغيرات التضاريسية والجيومورفولوجية، ويتناول **العنصر الثالث:** أهم الأشكال الأرضية الناتجة عن فعل الإنسان، وذلك على النحو التالي:

أ- خريطة استخدام الأرض:

قام الباحث بإنتاج خريطة استخدام الأرض في منجم السكري **(شكل ١٠)** اعتمادًا على: الخريطة التي تم الحصول عليها من الشركة(١)، والتي تمثل منطقة المنجم في أواخر عام ٢٠١٨، وأيضًا من خلال الدراسات الميدانية، بالإضافة إلى قراءة الصور المحفوظة من برنامج جوجل إيرث، ويلاحظ من قراءة هذه الخريطة ما يلي:

- يوجد في المنجم العديد من المنشآت المهمة للتعدين، مثل: مصنع المعالجة، ومحطة المياه، ومحطة الطاقة، ومصنع الخلط، ومصنع الاستحلاب، والمعسكر السكني.
- توجد حفرة للتعدين السطحي.
- يوجد مدخل المنجم الباطني آمون ومدخل المنجم الباطني كليوباترا.

(١) إحداثيات هذه الخريطة إحداثيات محلية، وقام الباحث بالاستعانة بصورة محفوظة من برنامج جوجل إيرث في تحويلها إلى الإحداثيات العالمية، وتم تعريف الإسقاط إلى UTM, WGS84, Zone 36N.

– توجد ثلاث مناطق لتجميع أكوام المخلفات، وتعرف بأسماء كوم المخلفات الجنوبي وكوم المخلفات الشرقي وكوم المخلفات الشمالي.

– يوجد موقعان لرش الكومة، موقع جنوبي وآخر شمالي، ويجاور كل موقع بركة لتجميع نواتج الترشيح.

– يوجد حوض رئيسي لتخزين النفايات، وتتصرف إليه نفايات مصنع المعالجة من مياه بها مواد كيميائية ورواسب ناعمة.

– توجد ثلاثة خطوط أنابيب لنقل مياه البحر الأحمر وعدد من الآبار عالية الملوحة في السهل الساحلي، وترفع المياه عبر محطات الرفع لمسافة ٢٥ كم عبر واديي أم تنضبة والعلم، ويتم تخزين المياه في بركتين بالقرب من مصنع المعالجة؛ وقد تم مد هذا الخط بسبب عدم توفر مصادر مياه محلية كافية، وتستخدم هذه المياه في التعدين، وتدخل في محطتي تنقية تجعلها صالحة للاستخدامات البشرية، وتوجد مرحلة تجعلها صالحة للشرب، وتبلغ القدرة الإجمالية لخطوط الأنابيب الثلاثة ١٧٠٠ م^{٣}/الساعة (Sukari Gold Project-Technical Report, 2015, PP. 21, 186, 187).

– توجد شبكة قوية من طرق النقل تربط أجزاء المنجم بعضها مع بعض، وتتنوع الطرق بين مزدوجة ومفردة، وتتسم عامة بالاتساع؛ وذلك لكبر حجم المعدات المستخدمة في النقل. ويتراوح اتساع الطرق بين ١٠ – ٣٥ م، ولعل من أهمها: الطريق الدائري، والطرق التي توجد في حفرة التعدين السطحي، والطرق المؤدية إلى مناطق تجميع أكوام المخلفات ومواقع رش الكومة.

وتجدر الإشارة إلى أن توزيع المنشآت في المنجم تم بطريقة تساعد على تقليل تكلفة التعدين؛ حيث يلاحظ أن منطقة الدراسة اتسمت بخصائص جيولوجية وتضاريسية وجيومورفولوجية ساعدت على سهولة تعدين الذهب من المنطقة، ومن أهم هذه الخصائص: أن قاع وادي السكري يتسم بأنه منطقة سهلية شبه مستوية السطح، ولا توجد به خامات الذهب، ومساحته كبيرة إلى حد ما، ومناسبة لتوزيع المنشآت التعدينية بطريقة تقلل من تكلفة التعدين وبصورة تساعد على تجاور المنشآت المرتبطة بعضها مع بعض، بينما تركز تعدين الذهب في جبل السكري والمنطقة المتاخمة له؛ حيث يوجد التعدين السطحي من خلال حفرة التعدين السطحي، وأيضًا المنجم الباطني.

ونظرًا لوقوع معظم المنشآت التعدينية في قاع وادي السكري، لذا كان من الأهمية بمكان حماية المنجم من خطر الجريان السيلي، لذا قامت شركة السكري لتعدين الذهب باتخاذ التدابير المناسبة لحماية المنجم من أخطار السيول، وتتمثل هذه التدابير في حفر قنوات لتحويل مياه السيول وخاصة عن حفرة التعدين السطحي، كما توجد أيضًا مضخات لرفع مياه الأمطار والسيول القليلة التي قد تدخل إلى حفرة التعدين السطحي، وتستخدم مياه السيول المتجمعة في منطقة المنجم في عملية مصنع المعالجة، وفي قمع غبار الطرق نتيجة لحركة معدات التعدين (Sukari Gold Project-Technical Report, 2015, PP.153,154). وقد لاحظ الباحث من قراءة صور جوجل إيرث وجود العديد من السدود الركامية على وادي السكري الرئيسي وبعض روافده التي تنتهي إلى المنشآت التعدينية كالمعسكر السكني والمخازن والمصنع ومناطق رش الكومة.

شكل (١٠) خريطة استخدام الأرض في منجم السكري

المصدر: ١- المرئية الفضائية Sentinel-2 بتاريخ ٢٤ نوفمبر ٢٠١٩، وتم تحميلها من الموقع: https://baseline.asf.alaska.edu/

٢- الخريطة التي تم الحصول عليها من المنجم.

ب- استخدام المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية في رصد التغيرات التضاريسية والجيومورفولوجية:

أدى توفر وتنوع المرئيات الفضائية بدقات مكانية وزمنية متعددة إلى وجود سجل تاريخي طويل من البيانات، وقد ساعد ذلك الباحثين على رصد التغيرات بأنواعها المختلفة، ومن ضمنها التغيرات الجيومورفولوجية وغيرها سواء لأسباب طبيعية أو لتدخلات بشرية. وقد عرضت دراسة (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2015, PP.582-587) للعديد من الطرق الآلية[١] التي تستخدم لرصد التغيرات من المرئيات الفضائية، ويتم بعضها عن طريق المقارنة البصرية بين نتائج تحليلات المرئيات الفضائية في تواريخ مختلفة، والبعض الآخر عن طريق المقارنة الاحصائية.

وقد اقتصرت طرق رصد التغير ولفترة طويلة على تتبع التغير الطيفي بين مرئيات فضائية مختلفة التواريخ (Krauß, et al., 2013, P. 1)، وقد قدمت في ذلك العديد من الدراسات الأجنبية والعربية التي عرضت في مصادر الدراسة في أول البحث). ولا شك في أن اقتصار رصد التغير عامة والتغير الجيومورفولوجي خاصة على تتبع التغير الطيفي لا يصلح لجميع الموضوعات، فهو إن كان يصلح في دراسة بعض الظاهرات مثل السبخات فإنه لا يصلح في دراسة البعض الآخر من الظاهرات

---

(١) من هذه الطرق: طريقة تصنيف مجموعات البيانات المتعددة Classification of Multitemporal Data Sets، وطريقة الاختلاف الزمني للمرئية Temporal Image Differencing، وطريقة المقارنة النسبية الزمنية Temporal Image Rationing، وطريقة تحليل التغير الاتجاهي Change Vector Analysis (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2015, PP.582-587).

التي تتغير رأسيًا، ويرجع ذلك إلى اعتماده على رصد التغير الثنائي الأبعاد، أي في الاتجاهين العرضي والطولي وبالتالي المساحة، دون رصد التغيرات الرأسية، وهي على درجة كبيرة من الأهمية من الناحية الجيومورفولوجية.

وقد ظهرت نماذج الارتفاع الرقمية في أواخر خمسينيات القرن الماضي؛ حيث تعد دراسة (Miller & La Flamme, 1958, PP. 434, 435) أول دراسة تقدم هذه النماذج، وتتعدد مصادر إنتاجها سواء من ترقيم خطوط الكنتور ونقط المناسيب، أو من الصور الجوية والمرئيات الفضائية الاستريوسكوبية، أو من البيانات الرادارية، وأدى هذا التنوع إلى وفرة كبيرة في هذه النماذج (Li, Zhu & Gold, 2005, PP. 31-63).

ولا شك في أن توفر نماذج الارتفاع الرقمية على فترات زمنية مختلفة سوف يساعد في إمكانية رصد التغيرات الرأسية، وسوف تتأثر دقة النتائج على دقة المصدر المستخدم في إنتاج النموذج، وطبيعة البيانات التي يوفرها هذا المصدر، فهل هي نماذج ارتفاع رقمية تمثل سطح الأرض دون الغطاءات الأرضية؟ أم نماذج ارتفاع رقمية تضم بداخلها ارتفاعات الغطاءات الأرضية الطبيعية والبشرية؟ كما تعتمد أيضًا على الدقة المكانية للنموذج، فكلما صغرت مساحة خلايا النموذج كلما ارتفعت دقته المكانية، وهذا يزيد من قدرته على تمييز الظاهرات الجيومورفولوجية.

وقد ظهرت في الأونة الأخيرة نماذج ارتفاع رقمية متاحة مجانًا على الانترنت مثل: نماذج SRTM بدقتها المكانية الثلاث ٣٠ و٩٠ و١٠٠٠م، ونموذج ASTER



GDEM بدقة مكانية ٣٠ م، وأيضًا نموذج PALSAR بدقة مكانية ١٢.٥م، وتمثل جميع هذه النماذج سطح الأرض بما عليه من غطاءات أرضية، وجميعها متوسطة إلى منخفضة الدقة المكانية، كما أن لها تواريخ محددة وثابتة، فبالنسبة لنماذج SRTM فتمثل سطح الأرض في فبراير ٢٠٠٠[١]، بينما يمثل نموذج ASTER GDEM سطح الأرض خلال الفترة من (١٩٩٩-٢٠٠٩)[٢].

وبالنسبة لنموذج PALSAR فيمثل سطح الأرض خلال الفترة من يناير ٢٠٠٦-مايو ٢٠١١ https://asf.alaska.edu/doi/palsar-documents-tools/. كما توجد أيضًا النماذج الكارتومترية المنتجة من الخرائط الطبوغرافية، وتمثل سطح الأرض بدون الغطاءات الأرضية، ويكون تاريخ النموذج المنتج هو تاريخ الرفع المساحي للخريطة.

وأضحت العديد من الدراسات الأجنبية تستخدم حاليًا نماذج الارتفاع الرقمية المنتجة لنفس المنطقة في تواريخ مختلفة في رصد التغيرات الجيومورفولوجية، وتستخدم هذه النماذج إما بصورة فردية أو عن طريق دمجها مع المرئيات الفضائية عالية الدقة المكانية والمصورة في نفس تاريخ إنتاج النموذج، بما يساعد في مشاهدة التضاريس

---

(١) تم إنتاج نماذج SRTM من التصوير الراداري لسطح الأرض باستخدام مكوك الفضاء الأمريكي Endeavor، وتم التصوير خلال الفترة من ١١-٢٢ فبراير ٢٠٠٠ (http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html).

(٢) تم إنتاج نموذج ASTER GDEM من المرئيات الفضائية الاستريوسكوبية ASTER، ويوجد إصداران للنموذج، ويمثل الإصدار الثاني سطح الأرض خلال الفترة من ١٩٩٩ – ٢٠٠٩، وهي الفترة التي صورت خلالها المرئيات (ASTER GDEM Validation Team, 2009, P. 2).

والأشكال الأرضية في هيئة ثلاثية الأبعاد، وإمكانية رصد التغيرات الجيومورفولوجية بالمقارنة البصرية. وفي ذلك تؤكد دارسة (Smith & Pain, 2009, P. 576) على أن العديد من الدراسات الحديثة تدمج المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية لدراسة الأشكال الأرضية، ودراسة خصائصها المورفومترية، وإعداد نماذج مرئية ثلاثية الأبعاد سواء من نماذج الارتفاع الرقمية بمفردها أو المدمجة مع المرئية الفضائية، مما يوفر أدوات عرض وتفسير أكثر قوة.

وبناءً على ما سبق يمكن للباحث في هذه الدراسة رصد التغيرات الجيومورفولوجية بطريقة المقارنة البصرية للمرئيات الفضائية المدمجة مع نماذج الارتفاع الرقمية، بما يساعد على إمكانية المقارنة الثلاثية الأبعاد، ويمكن من خلالها قياس مساحات وأبعاد الأشكال التضاريسية والجيومورفولوجية وتتبع تغيرها زمنيًا، وبهذا تصبح الدراسة الحالية من المحاولات الأولى في هذا المجال.

ويمكن التطبيق على منطقة منجم السكري للذهب؛ وحيث أن نماذج الارتفاع الرقمية SRTM-1 وASTER GDEM وPALSAR منشورة في تواريخ ترجع إلى قبل التعدين أو بدايته، كما أنها بدقات مكانية أقل من الدقة المكانية لنموذج Carto-5 المنتج من الخريطة الطبوغرافية لجبل السكري مقياس ١: ٢٥.٠٠٠، ويمثل سطح منطقة الدراسة في عام ٢٠٠٤. ولذا كان من الأهمية إنتاج نموذج ارتفاع رقمي حديث للمنجم، وقريب من وقت نشر البحث، بحيث يتم استخدامهما في رصد التغيرات الناتجة عن التدخل البشري في منطقة الدراسة.



وقد أدى إطلاق المزيد من الأقمار الصناعية عالية الدقة المكانية، إلى زيادة كمية البيانات المتاحة لمراقبة الأرض بسرعة كبيرة، وتساعد بعض هذه البيانات في إنتاج نماذج ارتفاع رقمية تفصيلية لسطح الأرض، ومن أمثلتها البيانات الرادارية من سلسلة الأقمار الصناعية الأوربية Sentinel (Krauß, et al., 2013, P. 1). ولذلك ستعتمد الدراسة على صور Sentinel-1 (١)، في إنتاج نموذج ارتفاع رقمي معاصر لمنطقة المنجم، وتتسم هذه الصور بعدم تأثرها بغطاء السحب، كما أنها متوفرة مجانًا على الانترنت، ويمكن استخدامها في إنتاج نماذج ارتفاع رقمية مرتفعة الدقة المكانية، مما يجعل نتائجها جيدة وصالحة للاستخدام وقريبة إلى حد كبير من الواقع.

وقد توفر لمنطقة الدراسة الصور الرادارية Sentinel-1 بتواريخ تبدأ من ٢٠١٥، وتم استخدام صورتين بتاريخ ٢ و٢٦ أكتوبر ٢٠١٩ لإنتاج نموذج ارتفاع رقمي حديث للمنجم بدقة مكانية ١٢.٥ م، هذا بالإضافة إلى نموذج الارتفاع الرقمي Carto-5 بدقة مكانية ٥ م، ويمثل منطقة الدراسة في عام ٢٠٠٤ أي قبل التعدين، كما توفر من خلال برنامج Google Earth Pro صورة بتاريخ ١٦ فبراير ٢٠٠٤ بدقة مكانية ١ م، وتوفرت أيضًا مرئية Sentinel-2 بتاريخ ٢٤ نوفمبر ٢٠١٩ بدقة مكانية ١٠ م، وبالتالي

---

(١) إن القمر الصناعي Sentinel-1 أول قمر صناعي ضمن مجموعة أقمار صناعية تابعة لبرنامج كوبرنيكوس، ويتبع وكالة الفضاء الأوروبية ESA. وتعد صور Sentinel-1 من الصور الرادارية، ويتألف القمر Sentinel-1 من قمرين 1a & 1b، وتم اطلاق الأول في أبريل ٢٠١٤ والثاني في ٢٥ أبريل ٢٠١٦، وتبلغ الدقة الزمنية لكل قمر منهما ١٢ يومًا، وبالتالي تتوفر صور لكل ٦ أيام https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar.

يمكن دمج الصورة والمرئية مع نموذجي الارتفاع الرقمي، وإجراء مقارنة بصرية ثلاثية الأبعاد، ورصد التغيرات الرأسية والأفقية في الأشكال التضاريسية والجيومورفولوجية بالمنطقة، وسوف تعرض الدراسة بإيجاز بعض الملاحظات حول إنتاج نموذج الارتفاع الرقمي من مرئيتي Sentinel-1 للمنطقة، وذلك حتى يساعد في الدراسات المستقبلية، ويلاحظ من قراءة شكل (١١) ما يلي:

– تحميل الصورتين الراداريتين Sentinel-1[١]، واستخدام برنامج SNAP[٢] في انتاج النموذج لأنه البرنامج المخصص لمعالجة هذه الصور[٣].

– تحديد منطقة الدراسة في المرئيتين؛ حيث يوجد في كل مرئية ثلاث رقاع Swaths، هي: IW1, IW2 and IW3، كما تضم كل رقعة ١٠ شرائح. وتقع منطقة الدراسة في الشريحتين ٥ و٦ من الرقعة الثانية IW2، وتم اختيار محور تقطيب رأسي.

– تم استخدام نموذج الارتفاع الرقمي SRTM-1 كأساس لحساب الارتفاع من المرئيتين.

– تم عمل ترشيح ومعالجة مشكلة البيانات عند أطراف الشرائح Deburst، وغيرها من الخطوات التقنية كالتصحيح الهندسي والنقط المرجعية.

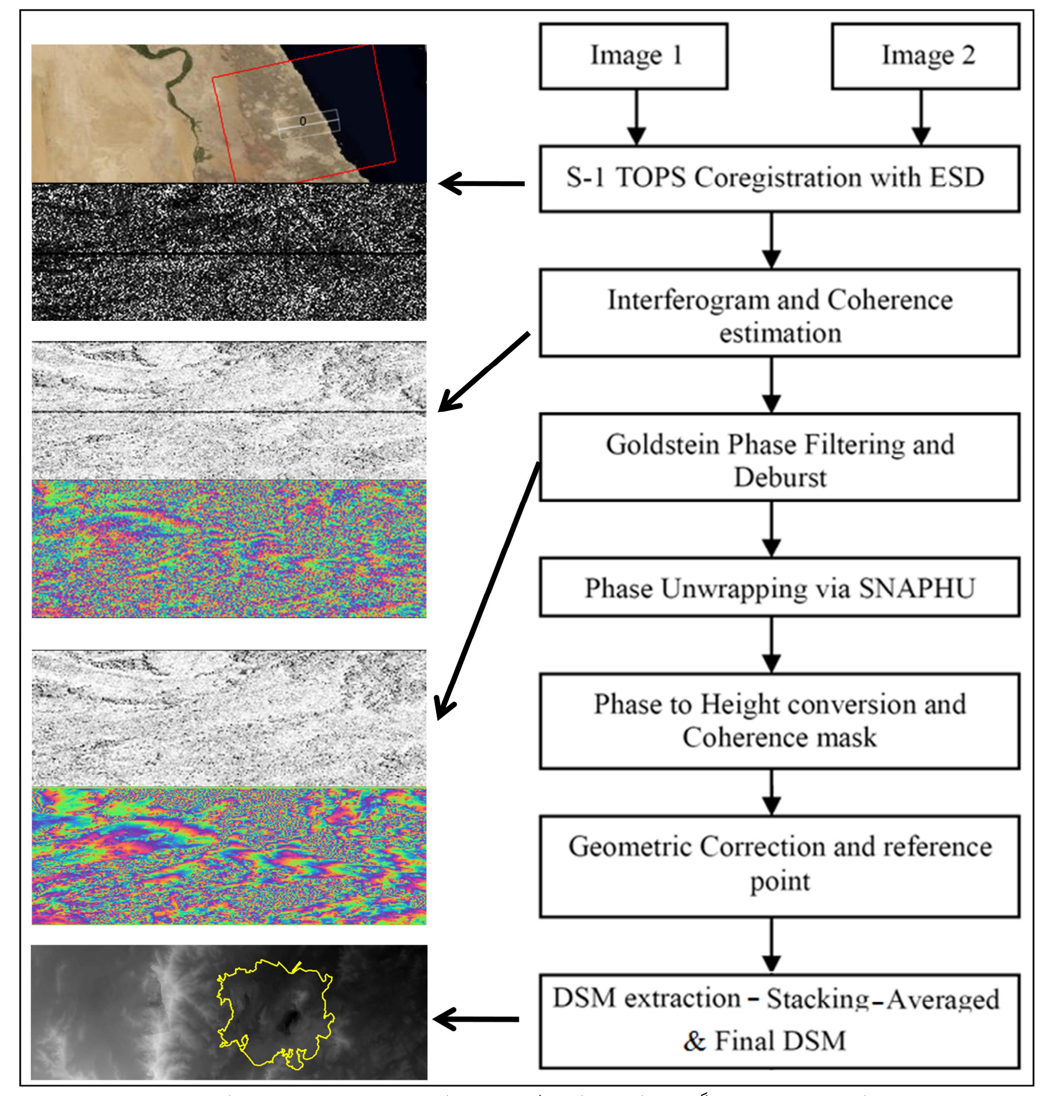
– استخلاص نموذج الارتفاع الرقمي لكل المنطقة الموجودة في الشريحتين ٥ و٦.

---

(١) يمكن تحميل الصور من أحد موقعين، هما: https://baseline.asf.alaska.edu/ أو https://scihub.coper nicus.eu/، ويحتاج الموقعان لاشتراك عن طريق التسجيل المجاني.

(٢) اختصار Sentinel Application Platform.

(٣) يحتاج إنتاج النموذج إلى حاسب آلي ذو كفاءة عالية (لا يقل عن Core i5)، حيث يتم معالجة صورتين تبلغ مساحة الواحدة منهما أكثر من ٤ جيجا بايت، كما يحتاج إلى توفر شبكة انترنت متوسطة السرعة (٥ ميجا/الثانية) فأكثر.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على الخطوات الواردة في دراسة (Letsios, Faraslis & Stathakis, 2019, P. 2)، وتم التطبيق على منطقة الدراسة باستخدام برنامج SNAP.

شكل (١١) خطوات إنتاج نموذج الارتفاع الرقمي من المرئيات الفضائية الرادارية Sentinel-1 بتاريخ ٢ – ٢٦ أكتوبر ٢٠١٩

– تقييم النموذج عن طريق مقارنته مع نموذج Carto-5، وذلك في المناطق التي لم يحدث بها تعديلات في الأجزاء الشمالية من جبل السكري، وبناءً عليه تم معالجة بعض الأخطاء الموجودة في النموذج، وأصبح النموذج صالحًا للاستخدام.

– توجد مجموعة من الملاحظات العامة الخاصة بمرئيات Sentinel-1 الرادارية، منها: أن يكون اتجاه الطيران Azimuth في المرئيتين واحد إما صاعدًا أو هابطًا، وكان في

المرئيتين المستخدمتين في الدراسة صاعدًا، ويجب أن يكون الفاصل الزمني بين المرئيتين ٢٤ يومًا، وذلك حتى تكون المرئية ملتقطة في نفس خصائص التصوير، وأن تكون المرئيتين من نفس القمر أي من Sentinel-1A أو Sentinel-1B، وأن يكون مستوى المعالجة SLC (Single Look Complex)(١)، ولابد أن يتم اختيار محور التقطيب الرأسي، حيث يقوم الرادار بإرسال موجة رأسية ويستقبل موجة رأسية، وكان نمط المستشعر المستخدم بتقنية Interferometric Wide Swath(٢)، وفيها يبلغ عرض الرقعة ٢٥٠ كم، والدقة المكانية بين ٥ – ٢٠ م.

لابد من التأكيد على ضرورة تقييم النموذج إحصائيًا وبالفحص البصري(٣) قبل استخدامه، ولابد من معالجة الأخطاء التي توجد به، فإذا لم يتم ذلك فسوف يشوب النتائج بعض الأخطاء، كما يجب أن تكون النماذج المستخدمة مرتفعة الدقة المكانية.

---

(١) تتوفر ثلاثة مستويات للمعالجة هي: SLC, GRD & OSN، ولكل واحدة منها استخدام https://earth. esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/resolutions/level-1-single-look-complex.

(٢) يوجد في هذا النمط مستشعر التضاريس https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/overview.

(٣) يتم التقييم الإحصائي عن طريق حساب بعض المؤشرات الإحصائية مثل جذر متوسط مربع خطأ الارتفاع RMSE، ومتوسط خطأ الارتفاع، والانحراف المعياري (خطاب، ٢٠١٣، ص٣٣). وقد تم حساب هذه المؤشرات لمنطقة الدراسة باستخدام ١٨١ نقطة منسوب وبلغت قيم RMSE ومتوسط خطأ الارتفاع، والانحراف المعياري ١.٤٨ و٢.٢ و٤.٢ م على التوالي. بينما يتم الفحص البصري عن طريق استخدام مجموعة من أدوات عرض نماذج الارتفاع الرقمية كخرائط ظلال التضاريس والمجسمات وغيرها (Hutchinson & Gallant, 2000, Lo &Yeung, 2007, PP.345, 346). ويهدف ذلك معرفة إلى أي مدى يمثل النموذج المنتج سطح الأرض الحقيقي في ضوء البيانات المتاحة؟ وما مدى دقة النموذج؟ وهل توجد بالنموذج بعض الأخطاء الناتجة عن عملية الاستيفاء كالحفر والقمم والحافات الزائفة وغيرها؟ (خطاب، ٢٠١٣، ص٣٣).



ولا شك أن توفر مرئيات Sentinel-1 بشكل دوري سوف يساعد الباحثين في المستقبل القريب في إنتاج نماذج ارتفاع رقمية حديثة، ومع استمرار نشر هذه المرئيات لفترة زمنية طويلة، سيصبح من الممكن إنتاج سلسلة من نماذج الارتفاع الرقمية على فترات زمنية مختلفة، بما قد يساعد في رصد التغيرات التضاريسية والجيومورفولوجية السريعة والواضحة في بعض المناطق التي يوجد بها تدخلات بشرية واضحة.

ويعرض شكل (١٢) نموذجي الارتفاع الرقمي المنتجين، ويعرض شكل (١٣) صورة ثلاثية الأبعاد لمنطقة المنجم قبل بدء التعدين وبعد التعدين، ويلاحظ من قراءتهما وجود تغيرات تضاريسية وجيومورفولوجية واضحة في منطقة الدراسة، ويمكن تتبع التغيرات رأسية وأفقيًا وليس فقط في الاتجاه الأفقي.

ج- الآثار التضاريسية والجيومورفولوجية الناتجة عن التدخل البشري:

يمثل الإنسان حاليًا أحد العوامل الجيومورفولوجية المهمة المشكلة لسطح الأرض، وينتج عن أنشطته العديد من الأشكال الأرضية. وإذا كان فعل الإنسان ضئيل للغاية إذا ما قورن بفعل العوامل والعمليات الباطنية، إلا أن فعله يتساوى وأحيانًا يتفوق على فعل معظم العوامل والعمليات السطحية، وترتب على ذلك ظهور مصطلح الجيومورفولوجيا البشرية أو الأنثروبوجيومورفولوجيا (Szabo, 2010, P. 4). وقد اقترح هذا المصطلح Golomb & Eder في عام ١٩٦٤، ويقصد به دراسة الدور البشري في تشكيل الأشكال الأرضية، وتعديل فعل العمليات الجيومورفولوجية الطبيعية. وبالرغم من ظهور هذا

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على الخرائط الطبوغرافية ومرئيتي Sentinel-1.

شكل (١٢) نموذجا الارتفاع الرقمي المنتجين بمعرفة الباحث لمنطقة الدراسة في عامي ٢٠٠٤ و٢٠١٩

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على برنامج ENVI 5.3، وقد تم استخدامه في دمج النموذج مع المرئية الفضائية، أ- نموذج الارتفاع الرقمي Carto-5 المنتج من الخرائط الطبوغرافية بتاريخ ٢٠٠٤ وتم دمجه مع صورة محفوظة من برنامج جوجل إيرث بتاريخ ١٦ فبراير ٢٠٠٤. ب- نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من المرئية الرادارية Sentinel-1 بتاريخ ٢ – ٢٦ أكتوبر ٢٠١٩ وتم دمجه مع مرئية Sentinel-2 بتاريخ ٢٤ نوفمبر ٢٠١٩.

شكل (١٣) مجسمان لمنطقة الدراسة في عامي ٢٠٠٤ و٢٠١٩

المصطلح منذ فترة ليست قصيرة، إلا أن معظم الدراسات الجيومورفولوجية الكلاسيكية بما في ذلك تلك التي ترجع إلى العقود القليلة الماضية تتجاهل تمامًا الجيومورفولوجيا البشرية (Goudie & Viles, 2016, P.7).

وقد أدت الزيادة السكانية والتطور الصناعي إلى زيادة التعدين، والبحث عن المعادن في معظم سطح الأرض. وأدت المعدات التكنولوجية الحديثة و المتفجرات إلى ارتفاع معدلات التعدين بصورة كبيرة. وتُستخدم هذه المعدات في إزالة الغطاء السطحي وكشط الأسطح وإنشاء حفر التعدين السطحية أو حفر أنفاق تحت الأرض، هذا بالإضافة إلى مد شبكات الطرق وخطوط الأنابيب لنقل المعادن إلى وحدات المعالجة، وتحتاج بعض أنواع التعدين إلى اتخاذ تدابير للاحتفاظ بالمواد في الموقع عن طريق إنشاء برك الترسيب وغيرها، مما يتطلب استخدام المزيد من المواد الأرضية. ويترتب على ذلك حدوث تغييرات كبيرة في الأشكال الأرضية والتضاريسية (Mossa & James, 2013, P. 74).

وعامة يشيع في اللاندسكيب التعديني العديد من الأشكال الفريدة والمشتركة التي يمكن التعرف عليها بسهولة، وتختلف هذه الأشكال باختلاف حجم عملية التعدين، والمواد التي يتم استخراجها (Mossa & James, 2013, P. 85)، وأيضًا تختلف باختلاف الخصائص التضاريسية والجيومورفولوجية لمنطقة التعدين، ونوع المعدن المستخرج، وطريقة التعدين المستخدمة، والمساحة الأرضية التي يتم عليها التعدين.

وقد أدى استخراج المواد الخام المعدنية إلى ظهور مصطلح اللاندسكيب الناتج عن التعدين Mining Landscape في القرن التاسع عشر، ويتم دراسة الأشكال الأرضية الناتجة عن التعدين من خلال الوصف والتوزيع المكاني والخصائص العامة، ويمكن تصنيفها تبعًا للحجم وطريقة التشكيل، وتوجد عدة تصنيفات للأشكال الأرضية البشرية الناتجة عن التعدين، ولعل منها التصنيف إلى ثلاث مجموعات تبعًا لطريقة التشكيل، وهي: أشكال أرضية ناتجة عن الحفر، وأشكال أرضية ناتجة عن التشوين وترصيص المخلفات، وأشكال أرضية دمرتها أنشطة التحجير، مما أدى إلى استواء سطح الأرض (David, 2010, PP. 113-117).

ويمكن دراسة الآثار التضاريسية والجيومورفولوجية الناتجة عن التدخل البشري في منطقة المنجم على النحو التالي:

١- إزالة جبل السكري وبعض التلال المجاورة له:

يلاحظ من مقارنة منطقة الدراسة في شكلي (١٢ و١٣) أن التعدين السطحي عمل على إزالة معظم جبل السكري، حيث كانت مساحته قبل التعدين نحو ١.٧ كم^{٢}، وأصبحت نحو ٠.٨ كم^{٢} في عام ٢٠١٩؛ وقد بدأت الإزالة في منطقتي آمون ورع في الأطراف الجنوبية من الجبل، ثم اتجهت إلى منطقتي غزالي وفرعون في الأجزاء الوسطى والشمالية من الجبل. وأصبحت حفرة التعدين السطحي تشغل مكان جبل السكري، وتبعًا للمخطط المستقبلي للتعدين بالمنجم، لن يتبقى من جبل السكري إلا

الطرف الشمالي الغربي (شكل١٤)، كما سيتم إزالة لإجزاء من التلال الواقعة إلى الشرق والجنوب الشرقي من جبل السكري، وسيترتب على ذلك اختفاء العديد من الأشكال الأرضية التي كانت مميزة لهذه المنطقة، مثل الحافات الصدعية والأودية التي كانت تتصرف إلى واديي السكري والعلم، وقد لوحظ أثناء الدراسات الميدانية أن الأجزاء المتبقية من الجبل، والتي تمثل الأجزاء الشمالية منه، لها حائط اصطناعي ناحية حفرة التعدين السطحي، ويظهر هذا الحائط على هيئة درجات شبه سلمية (صورة ٢).

صورة (٢) الجزء المتبقي من جبل السكري، ويظهر الجانب الجنوبي له في هيئة درجات شبه سلمية. (تاريخ التصوير: ٧ فبراير ٢٠١٩)

٢- حفرة التعدين السطحي[١] Opent Pit:

تعد واحدة من أشهر الأشكال الأرضية البشرية النشأة (David, 2010, P. 117)، وترتبط بمناطق استخراج المعادن الثمينة مثل الذهب والنحاس والماس (Mossa & James, 2013, P. 85). ويوجد في منجم السكري حفرة تعدين سطحي تم حفرها في المكان الذي كان يوجد به جبل السكري، حيث يوجد الذهب في عدة أشكال منها عروق الكوارتز والذهب المنتثر في بلورات جرانيت السكري. وقد بدأ حفرها مع بداية التعدين بالمنجم في أواخر عام ٢٠٠٨، ويتم تطويرها دوريًا عن طريق توسيعها وتعميقها باستخدام التفجير الموضعي ومعدات التعدين، وتم وضع سبع مراحل لتوسيع وتعميق الحفرة، وتم الإنتهاء من المراحل الثلاث الأولى، ويتم حاليًا العمل في المرحلة الرابعة (شكل ١٤). وتظهر جوانب الحفرة على هيئة مدرجات شبه سلمية، وأرضيتها شبه مستوية السطح، وتوجد في الحفرة الطرق التي يتم من خلالها نقل الغطاء الصخري والخامات المعدنية (صورة ٣).

وتبعاً للدراسات الميدانية يتم نقل نواتج الحفر بواسطة مجموعة من المعدات الثقيلة[٢] وذلك إما إلى الكسارات ثم مصنع المعالجة، أو إلى أحدى منطقتي رش الكومة، بينما يتم نقل الغطاء الصخري الخالي من الذهب إلى أحد مواقع التشوين

---

(١) تعرف أيضًا بـ: Open-cut or Open-cast Mining (Mossa & James, 2013, P. 75).

(٢) يوجد في منجم السكري العديد من المعدات الثقيلة، حيث توجد لودرات سعة ٣٠ و٥٠ طن، وعربات نقل ضخمة تعرف بالدمبر Dumper، وتبلغ حمولة النقلة الواحدة ١٥٠ طنًا.



حدود المرحلة الأولى
حدود المرحلة الثانية

حدود المرحلة الثالثة

حدود المرحلة الرابعة
حدود المرحلة الخامسة
حدود المرحلة السابعة

الحفرة
جبل السكري

٠,٥ ٠ ٠,٥ كم

٣٤°٤٣'٣٠" ٣٤°٤٤'
٢٤°٥٦'٣٠" ٢٤°٥٧' ٢٤°٥٧'٣٠"

أ- حفرة التعدين السطحي وجبل السكري في ٢٣ ديسمبر ٢٠١٢
ب- حفرة التعدين السطحي وجبل السكري في ٢٦ يناير ٢٠١٦
ج- حفرة التعدين السطحي وجبل السكري في ٢٤ نوفمبر ٢٠١٩

المصدر: ١- الصورتان في أ، ب تم حفضهما من برنامج جوجل إيرث. ٢- المرئية الفضائية في ج Sentinel-2. ٣- مراحل المنجم من الشكل الوارد في ملف PDF المحمل من الموقع الإلكتروني: https://www.apet- eg.com/PDF/Modern20% Mining20% & 20processing20Technology20% at20%Sukari20%Gold٪٢٠mine.pdf

شكل (١٤) خريطة استخدام الأرض في منجم السكري



صورة (٣) بانوراما لحفرة التعدين السطحي في منجم السكري (تاريخ التصوير ٧ فبراير ٢٠١٩).

الواقعة في غرب وشرق الحفرة، أو شمال جبل السكري[١]. ويلاحظ من قراءة شكل (١٤) حدوث تطور كبير في أبعاد حفرة التعدين السطحي في المنجم، وقد بلغت جملة كمية المواد التي تم نقلها من الحفر منذ بدء التعدين وحتى نهاية عام ٢٠١٨ نحو ٤٠١ مليون طن، بمتوسط سنوي ٥٠.٢ مليون طن، وانحراف معياري ٢٠.٦ مليون طن، ويرجع ذلك إلى ارتفاع الكمية المنقولة سنويًا من ٢١.٢٥ مليون طن في عام ٢٠١١، إلى ٧٧.٨٨ مليون طن في أواخر عام ٢٠١٨. واعتمادًا على شكل (١٤) تم قياس مساحة وأبعاد الحفرة وكانت على النحو التالي:

- **في ديسمبر ٢٠١٢:** بلغت مساحتها نحو ٠.٥ كم٢ وطولها ٩٨٠م وعرضها ٦٢٠ م، وبلغت كمية المواد التي تم نقلها منها نحو ٤٥ مليون طن .
- **في يناير ٢٠١٦:** بلغت مساحتها نحو ١.١٢ كم٢ وطولها ١٣٣٥م وعرضها ٩١٥ م، وبلغت كمية المواد المنقولة منها ٢٥٠ مليون طن.
- **في أكتوبر ٢٠١٩:** اعتمادًا على الصورة الثلاثية الأبعاد، بلغت مساحة الحفرة نحو ١.٦ كم٢، وطولها ١٩٥٠ م وعرضها ٩٧٠ م، وبلغت كمية المواد المنقولة منها ٤٧٥ مليون طن. وبلغ طول أعلى حوائطها نحو ٣٠٠ م، ويمثل الحائط الشمالي للحفرة وهو في نفس الوقت جزء من جانب جبل السكري.

ومن المقدر أن تصل الأبعاد النهائية للحفرة في المرحلة السابعة في عام ٢٠٣٥

---

(١) تم استخدام النفايات الناتجة في بداية التعدين لإنشاء جوانب حوض تخزين النفايات ومنصة مصنع المعالجة، وكذلك في مد شبكة الطرق (Centamin Annual Report, Oct 2009, P. 30).



نحو ٢.٥ كم طول و١.٦ كم عرض، وستبلغ مساحتها نحو ٣ كم٢، وسوف يبلغ طول أعلى حوائطها نحو ٧٣٥ م (Modern Mining and Processing Technology at Sukari Gold mine, P. 19). وبناءً عليه تعد حفرة التعدين السطحي بمنجم السكري متوسطة المساحة إذا ما قورنت مع مثيلتها في منجم جراسبيرج للذهب في إندونيسيا(١)، والذي بلغت مساحة حفرة التعدين السطحي به نحو ٨ كم٢، وبلغ طولها ٣.٥ كم وعرضها ٣.٢ كم، ويبلغ طول أعلى حوائطها ٥٥٠ م.

٣- المدرجات الإصطناعية في جوانب حفرة التعدين السطحي:

يوجد في جوانب حفرة التعدين السطحي عدد من المدرجات الاصطناعية (صورة ٤)، وتزداد أعداد هذه المدرجات مع استمرار توسيع وتعميق الحفرة، ولذلك تختلف أعدادها من فترة لأخرى، بل وتختلف أيضًا من جانب لآخر تبعًا لارتفاع سطح الأرض والعمق الذي توجد به الخامات المعدنية. ومن للدراسة الميدانية في فبراير ٢٠١٩ وجد أن عدد المدرجات تراوح بين ١٧ – ٢٥ مدرجًا، ويعد الجزء الشمالي من الحفرة الموجود في الجزء المتبقي من جبل السكري هو أكثرها عددًا في المدجات كما في صورتي (٢ و٣).

وقد صممت المدرجات بمواصفات هندسية تساعد على عدم انهيارها. وتختلف أبعاد المدرجات في أجزاء الحفرة، فبالنسبة للمدرجات الموجودة في غربي الحفرة (حائط

---

(١) يعد أكبر منجم للذهب وثاني منجم للنحاس في العالم http://www.mining.com/freeport-to-yield-control-of-giant-grasberg-copper-mine-to-indonesia/، وقام الباحث بقياس أبعاده من برنامج Google Earth Pro.

القدم)، وجد أنه يبلغ ارتفاعها ١٠ م، وعرضها ١٠ م مع زيادة العرض إلى ٢٠ م كل مسافة ٦٠ م، وتبلغ درجة انحدار الواجهة ٨٠ °، ويبلغ المتوسط العام لدرجة الانحدار ٣٧°، أما المدرجات التي توجد في الأجزاء الشرقية والشمالية والجنوبية من الحفرة (الحائط المعلق)، فالأبعاد المورفومترية مختلفة نسبيًا حيث يبلغ ارتفاعها ٢٠ م، ويبلغ عرضها ١٠ م مع زيادة العرض بين١٥ – ٢٥ م كل مسافة ٤٠ م، ويبلغ درجة انحدار الواجهة ٨٠ °، ويبلغ المتوسط العام لدرجة الانحدار ٤٠° (Sukari Gold Project- Technical Report, 2015, P. 158).

وقد لوحظ ميدانيًا أن هناك حركة واضحة للمواد في بعض المدرجات، وتمثلت الحركة في انهيار أجزاء من جوانبها، وأيضًا انزلاق للمفتتات. وتتراكم ركامات الهشيم أسفل بعض المدرجات كما هو واضح في صورة (٥)، ويرجع ذلك إلى التفجيرات الموضعية، وحركة معدات النقل ذات الحمولات الضخمة، وقد أطلقت دراسة (David, 2010, P. 118) على ركامات الهشيم هذه مصطلحي Debris Aprons أي مخاريط المفتتات الناتجة عن فعل الإنسان.

٤- الكومات Dumps:

ترتبط بالمناجم السطحية أشكال مرتفعة كبيرة الأبعاد ناتجة عن ترصيص المواد المنقولة بعضها فوق بعض، وتعرف هذه الأشكال باسم الكومات (David, 2010, P. 119). ويمكن تقسيم الكومات في المنجم إلى نوعين تبعًا لتركيز الذهب، وهما:



صورة (٤) عدد من المدرجات الاصطناعية في حفرة التعدين السطحي (تاريخ التصوير ٣ مارس ٢٠١٥)



صورة (٥) ركامات الهشيم وحركة المواد بالمدرجات الاصطناعية في حفرة التعدين السطحي (تاريخ التصوير ٧ فبراير ٢٠١٩)

- **كومات المخلفات Waste Dumps:**

عبارة عن كومات تتكون من صخور الغطاء الصخري الذي لا يحتوي على الذهب، وتعد أكثر الكومات في منطقة المنجم، ويلاحظ من قراءة أشكال (١٠ و١٢ و١٣) أن هذه الكومات توجد في ثلاث مناطق مجاورة لحفرة التعدين، ويطلق على هذه المناطق أسماء: كوم المخلفات الجنوبي، وكوم المخلفات الشرقي، وكوم المخلفات الشمالي. وتأخذ الكومات أشكالًا هضبية وتلية ذات جوانب متدرجة، وسوف تظهر في نهاية التعدين على هيئة تلال هرمية ذات قمة مستوية وجوانب متدرجة (صورة ٦).

- **كومات الترشيح Dump Leach:**

هي كومات تتكون من ترصيص المواد منخفضة التركيز في الذهب، ويتم استخلاص الذهب منها عن طريق رشها بمحلول السيانيد المخفف، وتم ترصيص هذه الكومات فوق سطح غير منفذ للمياه، ويوجد في المنجم منطقتين لكومات الترشيح، الموقع الأول: يقع غرب حفرة التعدين السطحي، والموقع الثاني: يقع إلى الشمال الشرقي من جبل السكري. وتبلغ أبعاد الكومة الأولى: الطول ١.٤ كم والعرض ١٥٠ م، والارتفاع المحلي نحو ٣٠ م (صورة ٧)، وأبعاد الكومة الثانية: الطول ٢٩٠ م والعرض ١٥٦ م نحو ١٠ م.





صورة (٦) كوم المخلفات الجنوبي، ويظهر على شكل هضبة لها جوانب شبه سلمية (تاريخ التصوير ٣ مارس ٢٠١٥)



صورة (٧) جزء من كومة الترشيح الأولى بالموقع الجنوبي، ويلاحظ وجود محلول السيانيد المخفف الذي ترش به الكومة، كما يلاحظ الارتفاع والامتداد الكبير للكومة (تاريخ التصوير ٣ مارس ٢٠١٥)

٥- حوض تخزين النفايات TSF[١]:

تم إنشاء حوض تخزين النفايات في الجزء الغربي من المنجم في أوائل عام ٢٠١١[٢]، ويتضح من قراءة أشكال (١٠ و١٢ و١٣) أن الحوض يقع بالقرب من مصنع المعالجة، وذلك لتخزين نفايات المصنع كما هو واضح في صورة (٨). وقد لاحظ الباحث من تحليل المرئيات الفضائية للفترة من ٢٠٠٤ إلى ٢٠١٩ أن موضع حوض تخزين النفايات تم اختياره في منطقة شبه مستوية السطح تمثل جزء من قاع وادي السكري، وتحتل الجزء الغربي من منطقة المنجم، وبلغت مساحة الحوض في أكتوبر ٢٠١١ نحو ١ كم^{٢}، ثم تزايدت المساحة بالاتجاه غربًا وجنوبًا؛ بحيث أصبح الحد الغربي للحوض عند الأقدام الشرقية لجبل أبو عروق، وقد زادت المساحة جنوبًا على حساب مروحة فيضية لأحد الروافد الصغيرة التي تنبع من جبل أبو عروق وتصب في وادي السكري الرئيسي في منطقة المنجم، وقد زادت مساحة الحوض إلى نحو ٢ كم^{٢} في يناير ٢٠١٦ وإلى ٢.٥ كم^{٢} في أكتوبر ٢٠١٨.

وتضخ في هذا الحوض المياه والنفايات التي تخرج من المصنع، وتترسب الرواسب الرملية والطينية المطحونة في أرضية الحوض. وقد أشار التقرير التقني للشركة (Sukari Gold Project-Technical Report, 2015, P.21) إلى أن جسر الحوض تم تصميمه بطريقة تساعد على زيادة ارتفاعه سنويًا في ظل التطور

---

(١) اختصار: Tailings Storage Facility.

(٢) اعتمادًا على صور محفوظة من برنامج جوجل إيرث في الفترة من ٢٠٠٤ – ٢٠١٩.

الحادث في عملية التعدين وطاقة المصنع، وأن الحوض يخضع بصورة دورية للتقييم الهندسي، وتبلغ السعة التخزينية له ٦٨ مليون طن، ولتفادي تسرب النفايات والمياه المتجمعة في الحوض إلى المياه الجوفية في الوادي، فإن الحوض مبطن بمادة بولي إيثلين يبلغ سمكها ١.٥ ملم، ويتم إعادة استخدام مياه الحوض عن طريق إعادة ضخها إلى خزانات مصنع المعالجة، لاستخدامها ثانية في التعدين بعد ضبط تركيز الكيماويات بها. وتجدر الإشارة إلى أن الرواسب الموجودة في قاع الحوض والمتراكمة على جوانبه منخفضة في معدل الذهب لأقل من ٠.٣ جرام/الطن، ويمكن للتكنولوجيا المستقبلية أن تقوم باستخراج الذهب من هذه النفايات.



صورة (٨) حوض تخزين النفايات ومصنع المعالجة وقاع وادي السكري (تاريخ التصوير ٢٠ فبراير ٢٠١٨)

وقد لاحظ الباحث من الدراسات الميدانية (صورة ٨) ومن تحليل شكلي (١٢ و١٣) أن الجوانب الخارجية للحوض تظهر في شكل مدرجات. وتجدر الإشارة إلى أن منطقة الحوض ستكون أحد الأشكال المميزة لمنطقة المنجم بعد إنتهاء التعدين؛ حيث ستظهر في شكل هضبة سطحها شبه مستو ومنخفض عن جوانبها، وتتسم جوانبها بأنها شبه سلمية، ويبلغ الارتفاع المحلي لجوانب الحوض نحو ٤٠ م.

ومن الأهمية بمكان بعد توقف التعدين في المنجم أن يتم إغلاق حوض تخزين المخلفات وكومات الترشيح بطريقة بيئية مناسبة؛ حيث أن مادة السيانيد المخفف المستخدمة في استخلاص الذهب وغيرها من المواد الكيمائية شديدة الخطورة على المياه الجوفية والحياة، وبالتالي قد تمثل في المستقبل مخاطر بيئية محتملة. فقد يؤدي سقوط الأمطار فوق هذه المناطق وحدوث الجريان المائي السطحي أيضًا إلى نقل بقايا المحلول، وما لهذا من تأثير على المياه الجوفية والحياة النباتية والحيوانية في الحوض.

وتتخذ إدارة المنجم من الاحتياطيات الكثيرة لمنع تسرب محلول السيانيد وغيره من المواد الكيمائية إلى المياه الجوفية، حيث تم استخدام بعض مواد العزل ومواد منع التسرب أسفل حوض تخزين النفايات، وأسفل مناطق رش الكومة، كما يتم دوريًا متابعة استقرار جوانب حوض تخزين النفايات، وأيضًا مراقبة مستوى المياه الجوفية ومحتوى المواد الصلبة الذائية، وإعادة تدوير مياهه حوض تخزين المخلفات وبرك تخزين نواتج رش الكومة https://www.centamin.com/production/ sukari/tailings-storage-facility.



٦- أنفاق المنجم الباطني:

يعد المنجم الباطني من الأشكال الفريدة في المنطقة، ولم يستطع الباحث الدخول لهذه المنطقة، واعتمادًا على التقارير السنوية، يتألف المنجم الباطني من بوابة رئيسية Portal، وتوجد في داخل المنجم أنفاق مائلة، ويتم سنويًا مد عدد كبير من الأنفاق بأطوال تصل إلى آلاف الأمتار في اتجاهات مختلفة رأسية وأفقية.

٧- إزالة الأشكال الأرضية:

ترتب على التعدين في قاع وادي السكري الرئيسي إزالة العديد من الأشكال الأرضية التي كانت توجد في قاع الوادي، حيث اختفى المجرى الرئيسي للوادي، واختفت الظاهرات الثانوية المرتبطة به مثل الحواجز الإرسابية والجزر الصخرية والمروحة الفيضية التي كانت توجد به.

٨- دور الإنسان في العوامل والعمليات الجيومورفولوجية الطبيعية:

تم بناء العديد من السدود الركامية على وادي السكري الرئيسي وبعض روافده، وترتب على ذلك حجز سيول هذه الروافد عن القطاعين الأوسط والأدنى لوادي السكري ووادي علم، وبلغت جملة مساحة المنطقة التي تم التحكم في الجريان السيلي بها نحو ٦١.٣% من مساحة حوض وادي السكري، ولا شك أن لذلك تأثير على المياه الجوفية



والحياة النباتية والحيوانية في القطاعين الأوسط والأدنى من وادي السكري، كما سيكون له تأثير على عمليات النحت والنقل والإرساب .

وبناءً على ما سبق ومن قراءة جدول (٥) يلاحظ أن الإنسان يمثل في منجم السكري عاملًا جيومورفولوجيًا مهمًا للغاية، وقد قام بدور كبير في تغيير الخصائص التضاريسية والجيومورفولوجية، وسبقت الإشارة إلى جملة المواد التي تم نقلها من حفرة التعدين السطحي حتى نهاية ٢٠١٨ نحو ٤٠١ مليون طن، وسوف تبلغ نحو ١٨٠٠ مليون طن بعد الانتهاء من التعدين خلال ١٥ سنة، وبالتالي ففي نهاية التعدين بالمنجم سيكون الإنسان قد قام بنقل كمية من الصخور تبلغ نحو ١٤.٢ مرة قدر حمولة نهر النيل عند أسوان قبل بناء السد العالي، والتي كانت تبلغ نحو ١٢٧ مليون طن تبعًا لدراسة (Ball, 1939, P. 132)، وإذا كانت حمولة نهر النيل قد أدت إلى إرساب نحو ١ ملليمتر من الرواسب سنويًا فوق الوادي والدلتا، فبالتالي فإن كمية الصخور التي سيتم استخراجها في نهاية التعدين يمكن أن تغطي الوادي والدلتا بطبقة يبلغ سمكها نحو ١.٤ سم، وهو ما يمثل ما كان يقوم نهر النيل بإرسابه خلال ١٤ سنة.

جدول (٥) تقييم تغير الأشكال والعمليات الجيومورفولوجية المتأثرة بالتعدين بالمنطقة

الشكل – العملية	السنة		درجة التغير	
	٢٠٠٤	٢٠١٩	شديدة	شديدة جدا
جبل السكري	موجود	موجود	√	
التلال المجاورة لجبل السكري	موجود	موجود	√	
المجرى الرئيسي لوادي السكري	موجود	غير موجود		√
الحواجز الإرسابية	موجودة	غير موجودة		√
الجزر الصخرية	موجودة	غير موجودة		√
المروحة الفيضية	موجودة	غير موجودة		√
الحافات الصدعية	موجودة	غير موجودة		√
الفواصل	موجودة	غير موجودة		√
حفرة التعدين السطحي	غير موجودة	موجودة		√
المدرجات الاصطناعية	غير موجودة	موجودة		√
الكومات	غير موجودة	موجودة		√
حوض تخزين النفايات	غير موجودة	موجودة		√
أنفاق باطنية	غير موجودة	موجودة		√
عمليات التعرية بالسيول	غير موجودة	موجودة		√

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على نتائج الدراسة.

النتائج والتوصيات:

أ- النتائج:

١- يتركز الذهب في جبل السكري بمنطقة المنجم، ويوجد في عدة صور منها: الذهب المنتثر، وعروق وعريقات الكوارتز، وفي نطاقات التغير وغيرها.

٢- يرجع تمعدن الذهب في المنجم إلى عدة أسباب ترتبط بنسيج صخور الجرانيت، وحدوث حركات أرضية عنيفة ترتب عنها تكون العديد من نطاقات القص والصدوع بأنواعها، مما أدى إلى تداخل صخور الجرانيت، وحدوث تغير كلي لها بواسطة المحاليل المائية الحارة.

٣- بلغت جملة كمية الذهب المستخرجة من المنجم حتى نهاية عام ٢٠١٨ نحو ٣.٣٦ مليون أوقية، ويدور الإنتاج السنوي حول ٠.٥ مليون أوقية بعد عام ٢٠١٥، ويتراوح معدل الذهب في المنطقة بين ٠.٧٩–٢.٠٦ جرام/الطن في التعدين السطحي، وبين ٠.١ وأكثر من ٣٠ جرام/الطن في التعدين الباطني، ويقدر احتياطي الذهب حاليًا بنحو ٧.٢٥ مليون أوقية، ومن المحتمل أن يستمر التعدين حتى ٢٠٣٥.

٤- أثرت الخصائص الجيولوجية والتضاريسية والجيومورفولوجية تأثيرًا كبيرًا في تيسير تعدين الذهب، وفي التوزيع الجغرافي للمنشآت التعدينية بالمنجم.

٥- أظهرت عملية دمج المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية المنتجة في عدة

تواريخ على إمكانية رصد التغيرات التضاريسية والجيومورفولوجية بدقة عالية.

٦- قام الإنسان بالعديد من التغيرات الجيومورفولوجية في منطقة المنجم، وتمثلت في إزالة العديد من الظاهرات الطبيعية، وإنتاج ظاهرات بشرية النشأة، كما تحكم في الجريان السيلي في نحو ثلثي مساحة حوض السكري.

٧- من أهم الأشكال الأرضية الناتجة عن فعل الإنسان في منطقة الدراسة: حفرة التعدين السطحي، والمدرجات الاصطناعية، وكومات المخلفات، وكومات الترشيح، وحوض تخزين النفايات.

٨- لا يقل دور الإنسان كعامل جيومورفولوجي عن دور العديد من عوامل التعرية، بل قد يزيد تأثيره ويظهر على السطح بدرجة أسرع من فعل العوامل والعمليات الجيومورفولوجية السطحية الطبيعية، فمع نهاية التعدين سيكون الإنسان قد قام بنقل كمية من الصخور تبلغ نحو ١٤.٢ مرة قدر حمولة نهر النيل عند أسوان قبل بناء السد العالي، ويمكن لهذه الصخور أن تغطي الوادي والدلتا بطبقة يبلغ سمكها نحو ١.٤ سم.

ب- التوصيات:

١- يجب تقييم نماذج الارتفاع الرقمية المنتجة من المرئيات الفضائية قبل استخدامها، لأنها تحتوي على بعض الأخطاء.

٢- عدم اقتصار منهجية رصد التغيرات وخاصة التضاريسية والجيومورفولوجية على تتبع التغير الطيفي بين المرئيات الفضائية الملتقطة في تواريخ مختلفة.

٣- استخدام منهجية دمج المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية عالية الدقة المكانية والمنتجة في تواريخ مختلفة في رصد التغيرات خاصة التضاريسية والجيومورفولوجية.

٤- ضرورة المتابعة الدورية لحوض تخزين المخلفات؛ حتى لا تتسرب مادة السيانيد إلى المياه الجوفية والمنطقة المحيطة، مما يضر بالحياة الطبيعية في الحوض.

٥- بعد الانتهاء من التعدين يمكن وضع منطقة منجم السكري كواحدة من المزارات السياحية المهمة في مصر، خاصة في ظل قرب المنجم من مدينة مرسى علم والبحر الأحمر ومنتجع بورتو غالب، وهذا الأمر مطبق في العديد من المناجم في العالم.

المراجع والمصادر:

أ- المراجع العربية:

١-بطرس، ناجي شوقي (٢٠١٥). الذهب في مصر هل ذهب الذهب مع الفراعنة. القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب.

٢-تمام، علي محمد (٢٠١٣). التغيرات الجيومورفولوجية الناجمة عن التدخل البشري في النطاق الساحلي للبحر الأحمر فيما بين السويس ومرسى علم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة القاهرة كلية الآداب قسم الجغرافيا.

٣-حسن، سمية مصطفى علي (٢٠١٥). التغيرات الجيومورفولوجية في الهامش الصحراوي بشرق دلتا النيل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة القاهرة كلية الآداب قسم الجغرافية.

٤-زراك، غازي عطية (٢٠١٤). جيولوجيا المناجم والاستكشاف المعدني. تكريت: مطبعة جامعة تكريت.

٥-خطاب، محمد إبراهيم (٢٠١٣). استخدام نظم المعلومات الجغرافية في دراسة جيومورفولوجية الأودية شرق سوهاج بين وادي أبو شيح ووادي قصب. (رسالة دكتوراه غير منشورة). جامعة القاهرة كلية الآداب قسم الجغرافيا.

٦-شلبي، وهبه حامد (٢٠١٢). أثر التدخل البشري على جيومورفولوجية الشواطئ البحرية – دراسة حالة شاطئ مدينة بورسعيد. *المجلة الجغرافية العربية. الجمعية الجغرافية المصرية. العدد ٦٠. ص ص٤١ – ١٠٣.*

٧-عبد الحميد، عاطف معتمد (٢٠٠٥). رصد التدخل البشري في الهامش الساحلي لغرب الدلتا– تحليل بيانات مستشعرة عن بعد (١٩٨٤ – ٢٠٠٤ م). *سلسلة رسائل جغرافية. دورية علمية محكمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية. العدد ١٨٣.*

٨-كليو، عبد الحميد أحمد (١٩٨٥). الإنسان كعامل جيومورفولوجي دوره في العمليات الجيمورفولوجية النهرية. *سلسلة رسائل جغرافية. دورية علمية محكمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية. العدد ٨٠.*

٩-آل سعود، مشاعل بنت محمد (٢٠٠٤). تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة زحف الكثبان الرملية في واحة الإحساء. *سلسلة رسائل جغرافية. دورية علمية محكمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية. العدد ٢٨٥.*

١٠- مجمع اللغة العربية (١٩٨٢). معجم الجيولوجيا. القاهرة: الهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية.

١١- مشرف، محمد عبدالغني (٢٠١٣). المعجم الجيولوجي المصور. هيئة المساحة الجيولوجية السعودية.

ب- المراجع الإنجليزية:

1- Abdelwahed, et al., M.A., Harraz, H. & El Behairy, M. (2016). Transpressional Imbricate Thrust Zones Controlling Gold Mineralizationin the Central Eastern Desert of Egypt. *Ore Geology Reviews. doi:10.1016/j.oregeorev.2016.03.022*

2- Allam, A., (2008). Petrifaction's Geomorphic and Environmental Effects – Great Cairo Study Case. Geographic and Cartographic Research Center. Faculty of Arts. Menoufia University.

3- ASTER GDEM Validation Team. (2009). ASTER Global DEM Validation: Summary Report. http://www.ersdac.or.jp/GDEM/ver2Validation /Summary GDEM2 validation report final .pdf.
4- Ball, J. (1939). Contributions to the Geography of Egypt. Survey of Egypt. Cairo.
5- Botros, N., (2004). A New Classification of the Gold Deposits of Egypt. The Journal of African Earth Sciences. *Ore Geology Review. Vol. 4. No 2. PP. 1-35.*
6- Dávid, L., (2010). Quarrying and Other Minerals. In Szabó, J., Dávid, L., & Lóczy, D. (Eds.) Anthropogenic Geomorphology - A Guide to Man-Made Landforms. New York: Springer. PP. 113- 130.
7- Doornkamp, J., & King, C., (1971). Numerical Analysis in Geomorphology: An Introduction, London: Edward Arnold.
8- Goudie, A., & Viles, H., (2016). Geomorphology in the Anthropocene. Cambridge University Press. 324 P.
9- Helmy, H., Kaindl, R., Fritz, H., & Loizenbauer, J., 2004. The Sukari Gold Mine, Eastern Desert—Egypt: Structural Setting, Mineralogy and Fluid Inclusion Study. *Mineralium Deposita. Vol. 39. PP. 495 – 511.*
10- Hutchinson, M., & Gallant, J. (2000). Digital Elevation Models. In Wilson, P., & Gallant, J. (Eds.). Terrain Analysis: Principles and Applications. (PP.29-50). New York: John Wiley & Sons Inc.
11- James, L. A., Hodgson, M. E., Ghoshal, S., Latiolais, M. M. (2012). Geomorphic Change Detection Using Historic Maps and DEM Differencing: The Temporal Dimension of Geospatial Analysis. *Journal of Geomorphology. Vol. 137. PP. 181–198.*
12- Khalil, S. Mesbah, M., Soliman, F., & Abd El-Khalek, I. (2015). Geological Evolution of Sukari Gold Mines Area- Eastern Desert, Egypt. *Journal of Petroleum and Mining Engineering. Vol. 17. PP. 29 – 38.*
13- Klemm, R. & Klemm, D. (2013). Gold and Gold Mining in Ancient Egypt and Nubia-Geoarchaeology of the Ancient Gold Mining Sites in the Egyptian and Sudanese Eastern Deserts. New York: Springer.649P
14- Krauß, T., d'Angelo, P. Tian, J., & Reinartz, P. (2013). Automatic DEM Generation and 3D Change Detection from Satellite Imagery. Conference ESA Living Planet Symposium.
15- Letsios, V., Faraslis, I., & Stathakis, D. (2019). InSAR DSM using Sentinel-1 and Spatial Data Creation. Association of Geographic

Information Laboratories in Europe (AGILE), Conferences no 21st. Limassol, June 17-20.

16- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). Digital Terrain Model Principles and Methodology. London: CRC Press.
17- Lillesand, T.M., Kiefer, R. W. & Chipman, J. W. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. New York: John Wiley & Sons. 720 P.
18- Lo, C., & Yeung, A. (2007). Concepts and Techniques in Geographic Information Systems. (2nd edn.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
19- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing. Vol. 25. No. 12.* PP. 2365-2407.
20- Miller, C., & La Flamme, R. (1958). The Digital Terrain Model: Theory and Applications. *Photogrammetric Engineering. Vol. (24). PP. 433 -442.*
21- Mohammadi, A. Ahmad, B., & Shahabi, H. (2018) Extracting Digital Elevation Model (DEM) from Sentinel-1 Satellite Imagery: Case Study a part of Cameron Highlands, Pahang, Malaysia. Proceedings of 176th the IIER International Conference. Kuala Lumpur. Malaysia. 18th-19th July 2018. PP. 31-36.
22- Mossa J., & James L.A. (2013). Impacts of Mining on Geomorphic Systems. In: Shroder, J. (ed.) Treatise on Geomorphology. San Diego: Academic Press. PP. 74-95.
23- Singh, A. (1989). Digital Change Detection Teqniques Using Remotely Sensed Data. *International Journal of Remote Sensing. Vol. 10. No. 6. PP. 989-1003.*
24- Smith, M. J. & Pain, C. F. (2009). Applications of Remote Sensing in Geomorphology. *Progress in Physical Geography. Vol. 33. Part 4. PP. 568–582.*
25- Szabó, J., (2010). Anthropogenic Geomorphology: Subject and System. In Szabó, J., Dávid, L., & Lóczy, D. (2010). Anthropogenic Geomorphology - A Guide to Man-Made Landforms. New York: Springer. PP. 3- 10.
26- Szabó, J., Dávid, L., & Lóczy, D. (2010). Anthropogenic Geomorphology - A Guide to Man-Made Landforms. New York: Springer. 298 P.
27- Young, A. (1972). Slopes. Edinbruch: Oliver & Boyed.

ج- البرامج المتخصصة:

- Arc GIS, Ver. 10.3 ،ENVI, Ver. 5.3 ،Google Earth Pro 2016 ،SNAP.

د- المصـــــادر:

١- التقارير والنشرات الصادرة عن شركة سنتامين:

- Centamin plc Annual Report, 2018, 213 P.
- Centamin Prospectus, 30 October 2009, 417 P.
- Sukari Gold Project - Technical Report 30 June 2015. Mineral Resource and Mineral Reserve Estimate for the Sukari Gold Project. Egypt. 206 P.

٢- الخرائط:

– الخرائط الطبوغرافية: جبل السكري (٢٠٠٤)، مقياس ١: ٢٥.٠٠٠، إدارة المساحة العسكرية.

– الخرائط الجيولوجية: لوحة جبل حماطة (١٩٨٧)، مقياس ١: ٥٠٠.٠٠٠، إنتاج الهيئة المصرية العامة للبترول وكونكو كورال.

٣- المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمية:

- Landsat8-OLI 11Bands, Path 173, Row43, 11-5-2019.

- Sentinel-2: 12Bands, T36RXN, 24-11-2019.

- Radar Image Sentinal-1A :
  - S1A_IW_SLC__1SDV_20191026T154701_20191026T154731_029632_035FDD_798C .
  - S1A_IW_SLC__1SDV_20191002T154701_20191002T154731_029282_0353D1_8841.
- DEMs: -SRTM-1 & SRTM-3: N24 E34_dem.tif , 11-2-2000.